หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎี และหลักการทำงาน

หลักการระบบเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล

1.แนวคิดพื้นฐาน และโครงสร้างเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล (Basic Concept and Packet Radio Network Structures)

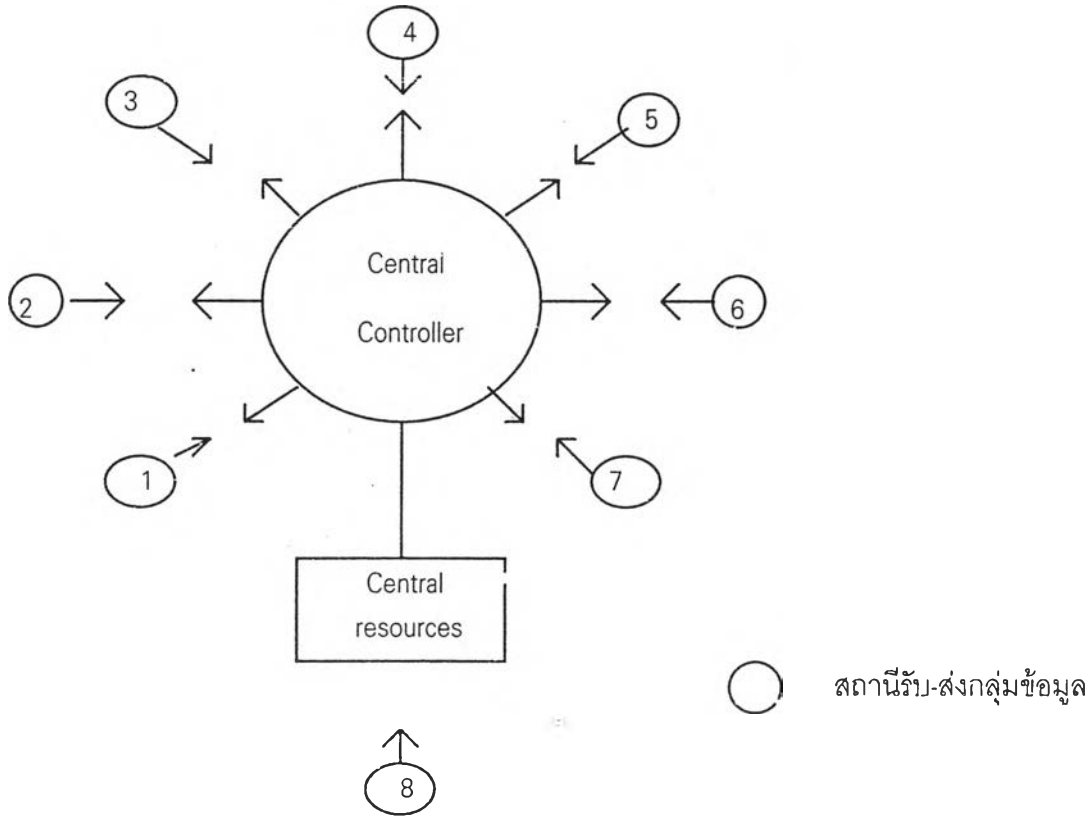
ระบบสื่อสารข้อมูล ในลักษณะเชื่อมโยงกันเป็นเครือข่ายในปัจจุบันนี้ สือ (Medium) ในการสื่อสารมีทั้งแบบที่ใช้สาย ซึ่งมีทั้งสายทองแดง และสายนำใยแสง และแบบที่ไม่ใช้สาย โดยใช้สื่อทางคลื่นวิทยุแทน ในที่นี้เราจะอธิบาย โครงสร้างของเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล

โครงสร้างโดยทั่วไปของระบบเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล จำแนกได้หลักๆเป็น 2 แบบ [23]คือ

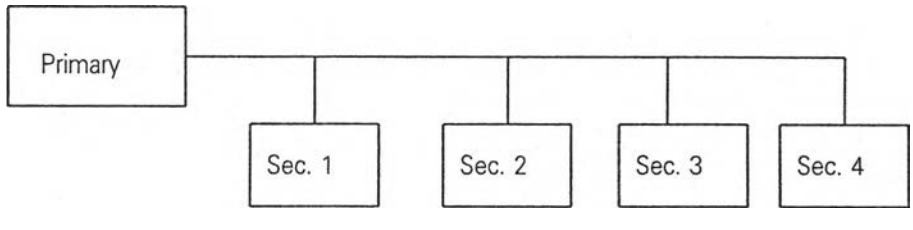
ก. เครือข่ายแบบรวมศูนย์กลาง (Centralized network)

เครือข่ายแบบรวมศูนย์กลาง มีโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.1โครงสร้างเครือข่ายแบบรวมศูนย์กลางนี้ จะมีสถานีแม่ข่ายเป็นศูนย์ควบคุมอยู่ 1 สถานี ศูนย์ควบคุมนี้จะมีฐานข้อมูลและทรัพยากรส่วนกลางของระบบอยู่ และสถานีลูกข่ายทุก ๆ สถานีจะติดต่อกับ สถานีแม่ข่ายนี้ได้เท่านั้นการติดต่อระหว่างสถานีลูกข่ายกับสถานีลูกข่ายด้วยกันเอง จะต้องติดต่อผ่านสถานีแม่ข่าย โดยสถานีแม่ข่ายจะเป็นสถานีจัดการถ่ายทอดให้อีกทอดหนึ่ง (Indirect) ในโครงสร้างของเครือข่ายแบบนี้ สถานีแม่ข่ายมักจะมีสายอากาศ แบบรอบทิศทาง (Omnidirectional antenna) ซึ่งจะทำให้ส่งกลุ่มข้อมูลให้สถานีลูกข่ายได้ทุกๆสถานี โครงสร้างแบบนี้เปรียบได้กับการส่งกลุ่มข้อมูลในสายแบบหลายจุด (multipoint line) โดยมีสถานีปฐมภูมิ (Primary) เป็นสถานีศูนย์ควบคุม และมีสถานีทุติยภูมิ (Secondaries) หลายสถานีเป็นเสมือนลูกข่าย ดังรูปที่ 2.2

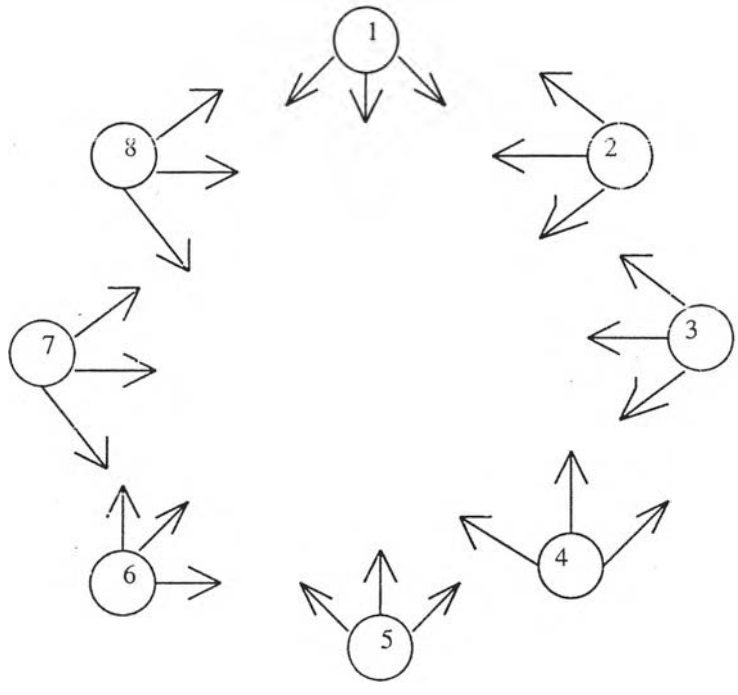
โครงสร้างเครือข่ายแบบรวมศูนย์กลางนี้ ปัจจุบันมีใช้ในระบบต่างๆ มากมาย เช่น ระบบตรวจสอบและควบคุมระยะไกล (SCADA) ระบบเก็บข้อมูลอัตโนมัติแบบไร้สาย (Wireless data collection)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเครือข่ายแบบศูนย์กลาง



รูปที่ 2.2 โครงสร้างแบบ Point-to-multipointในสื่อกลางที่เป็นสาย



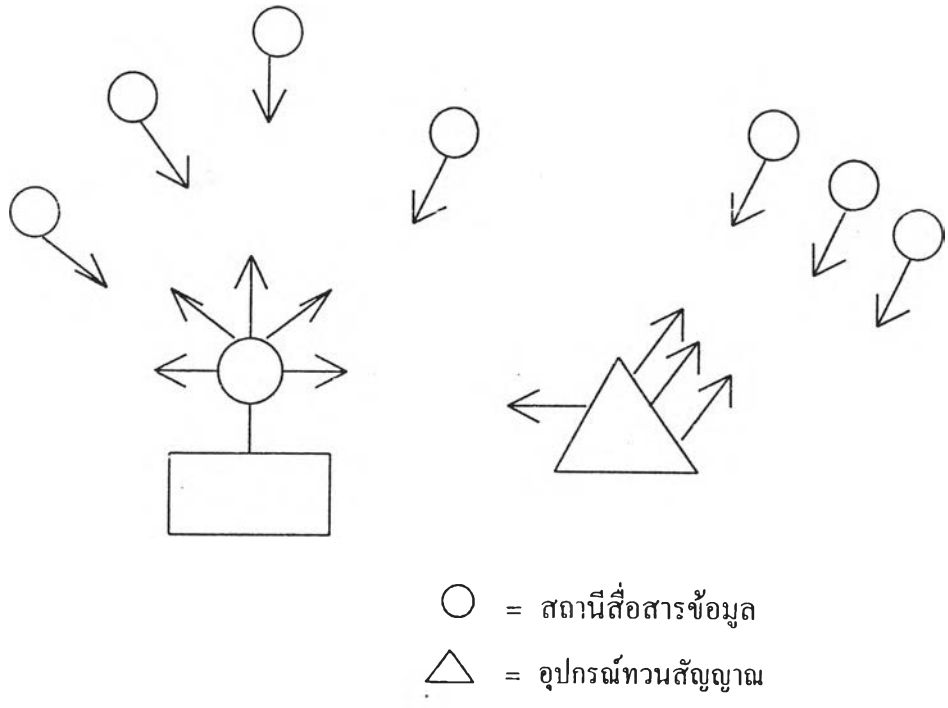
รูปที่ 2.3 เครือข่ายแบบกระจาย

ข. เครือข่ายแบบกระจาย (Distributed Network)

เครือข่ายแบบกระจายมีโครงสร้างดังรูป 2.3 ในโครงสร้างเครือข่ายแบบกระจายนี้ สายอากาศของทุกสถานีจะเป็นแบบส่งได้รอบทิศทาง โดยทุกสถานีจะติดต่อกับสถานีใดก็ได้ภายในเครือข่าย ในทางตรรกโครงสร้างแบบนี้เทียบเท่ากับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ท้องถิ่น (Local Area Network) สำหรับเครือข่ายที่ออกแบบในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นเครือข่ายแบบกระจาย

เนื่องจากระยะทางระหว่างจุดส่งและจุดรับ ในตัวกลางแบบคลื่นวิทยุนี้จะถูกจำกัดในค่าๆหนึ่ง ทั้งนี้อาจเกิดจาก การสูญเสียของคลื่นวิทยุในตัวกลาง, ภูมิประเทศไกลขึ้น โดยทั่วๆไปจะใช้อุปกรณ์ทวนสัญญาณช่วย ดังรูปที่ 2.4 และ 2.5

ในเครือข่ายแบบรวมศูนย์กลางนั้น อุปกรณ์ทวนสัญญาณจะรับกลุ่มข้อมูลจากสถานีแม่ข่าย และทวนสัญญาณไปยังสถานีลูกข่ายอีกกลุ่มหนึ่งในระยะทางที่ไกลขึ้น และอุปกรณ์ทวนสัญญาณ จะรับกลุ่มข้อมูลจากสถานีลูกข่าย และส่งกลุ่มข้อมูลไปยังสถานีแม่ข่าย เช่นเดียวกัน ส่วนในเครือข่ายแบบกระจายนั้นอุปกรณ์ทวนสัญญาณจะรับกลุ่มข้อมูล จากสถานีรับ-ส่งกลุ่มข้อมูลใดๆ และส่งกลุ่มข้อมูลนั้นไปยัง สถานีปลายทาง ได้ในระยะทางที่ไกลขึ้น

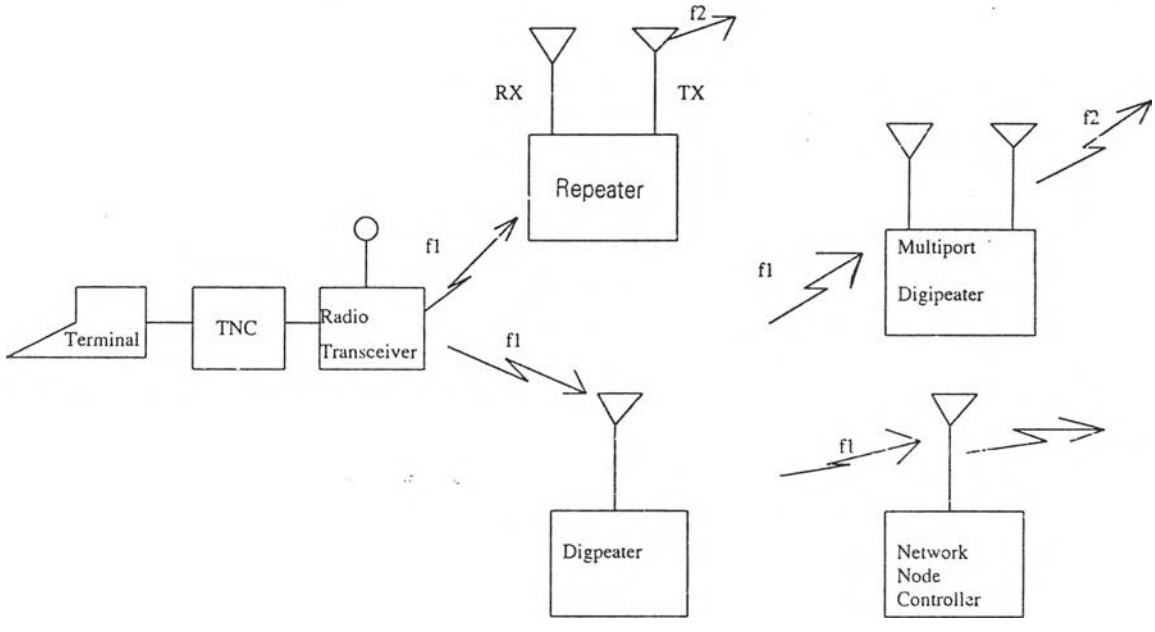


รูปที่ 2.4 เครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูลแบบรวมศูนย์กลาง มีอุปกรณ์ทวนสัญญาณเพื่อเพิ่มระยะทางสื่อสาร

รูปที่ 2.5 เครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูลแบบกระจายมีอุปกรณ์ทวนสัญญาณเพื่อเพิ่มระยะทางสื่อสาร

2.อุปกรณ์ส่วนฮารด์แวร์ของระบบ

อุปกรณ์ส่วนฮารด์แวร์ของเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล โดยทั่วไปแล้วขึ้นอยู่กับโครงสร้างมาตรฐานของระบบ เครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูลที่ใช้โพรโทคอลแบบ AX.25 ซึ่งเป็นเครือข่ายแบบกระจาย มีอุปกรณ์ประกอบเครือข่าย ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 อุปกรณ์ประกอบเครือข่าย

2.1 อุปกรณ์ปลายทาง (Terminal)

เป็นส่วนที่ผู้ใช้งานติดต่อกับระบบใช้เป็นทางผ่านของสัญญาน และการแสดงผลการติดต่อรวมทั้งข้อมูลข่าวสารที่รับ-ส่งภายในเครือข่ายจะแสดงผลบนจอภาพของอุปกรณ์ปลายทาง

2.2 ตัวควบคุมเทอร์มินัลโนด (Terminal Node Controller)

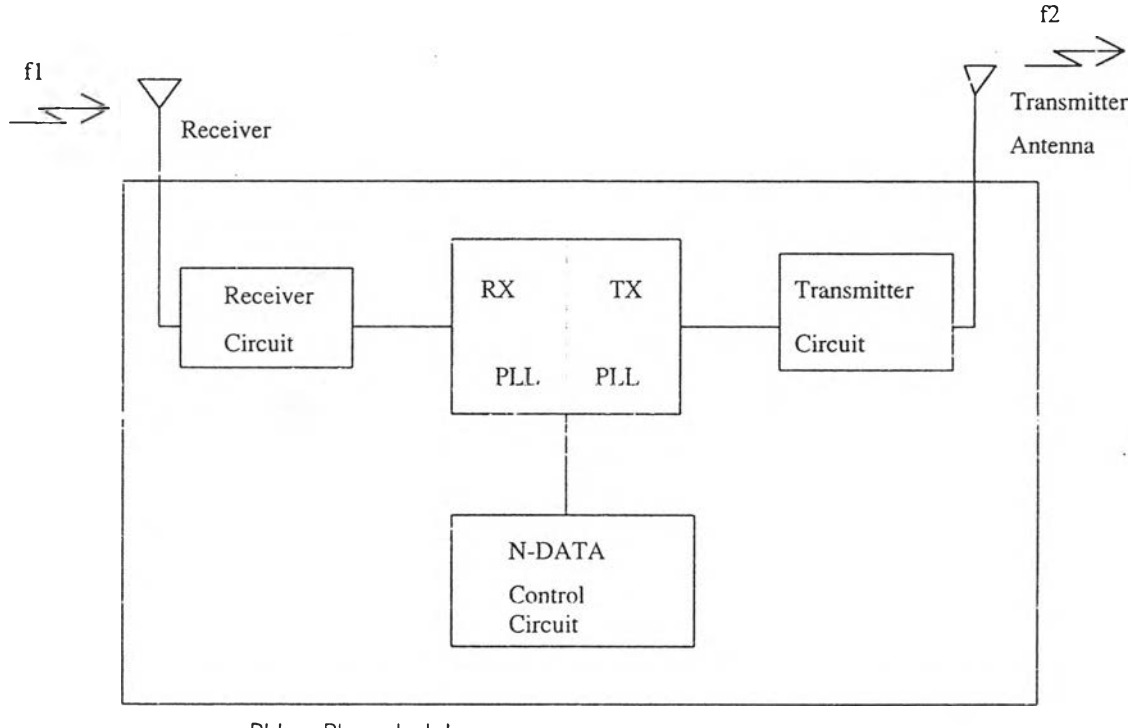
เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล ทำหน้าที่สร้างกลุ่มข้อมูล และรับ-ส่งกลุ่มข้อมูลตามกระบวนการในระเบียบวิธีสื่อสาร ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่อๆ ไป

2.3 เครื่องรับ-ส่งวิทยุสื่อสาร (Radio Transceiver)

เป็นอุปกรณ์สื่อสัญญาณ โดยนำกลุ่มข้อมูลจากตัวควบคุมเทอร์มินัลโนดส่งผ่านสื่อกลางที่เป็นอากาศ ไปยังสถานีสื่อสารปลายทางที่ต้องการติดต่อ

2.4 อุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater)

ด้วยเสียง อุปกรณ์ทวนสัญญาณนี้จะทวนสัญญาณทันทีที่มีคลื่นวิทยุที่ตรงความถี่ขาเข้า (f1) จากนั้นจะถอดสัญญาณเสียงนั้นออกมา มอดูเลตไปเป็นอีกความถี่หนึ่ง (f2) แล้วส่งไปยังภาคส่งและสายอากาศส่ง (ดูรูปที่ 2.7)



PLL = Phase lock loop

N -data= ตัวหารความถี่

รูปที่ 2.7 อุปกรณ์ทวนสัญญาณ

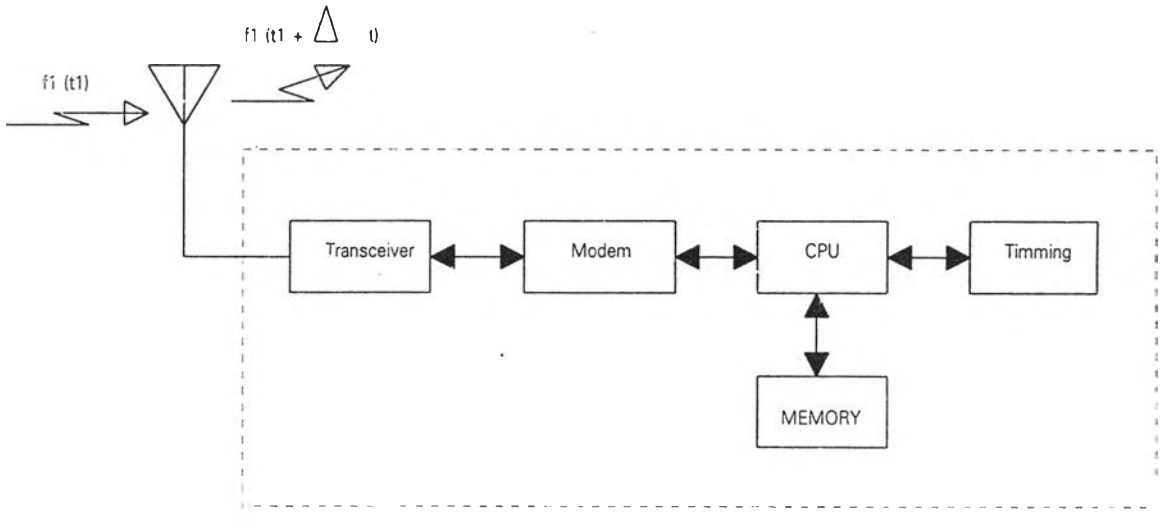
2.5 อุปกรณ์ทวนสัญญาณแบบดิจิตอล (Digipeater)

Digipeater มาจากคำว่า Digital Repeater ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่รับข้อมูลมาเก็บไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่งแล้วจึงทำการส่งต่อไป (Store and Forward) โดยสัญญาณที่ส่งเข้าDigipeater ความถี่ f1 จะถูกดีมอดูเลตเป็นสัญญาณ FSK แล้วผ่านวงจรโมเดมเพื่อให้ได้ข่าวสารที่เป็นสัญญาณฐานสอง (Binary)Digipeater ในเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล โพรโทคอลแบบ AX.25 นี้ Digipeaterทุกเครื่องจะมีนามเรียกขาน(Callsign)ประจำเครื่อง ซึ่งการส่งกลุ่มข้อมูลไปให้ Digipeater จะต้องอ้างนามเรียกขานของ Digipeater นั้นๆด้วย เมื่อDigipeaterรับกลุ่มข้อมูลได้เป็นรหัสฐานสอง

ออกมา ก็จะเปรียบเทียบว่าใช่ของตนเองหรือไม่โดยเทียบจากนามเรียกขานถ้าใช่ก็จะรอช่วงสัญญาณว่าง แล้วจึงส่งกลุ่มข้อมูลออกไปด้วยความถี่เดิมคือ f1 ดังรูปที่ 2.8

2.6 อุปกรณ์ทวนสัญญาณดิจิตอลแบบมัลติพอร์ต (Multiport Digipeater)

ทำงานแบบเดียวกับอุปกรณ์ Digipeater แต่สัญญาณด้านขาออกสามารถส่งความถี่ที่ต่างจากความถี่ขาเข้าได้ รวมทั้งอัตราเร็วในการส่งข้อมูลก็สามารถกำหนดให้ต่างจากอัตราเร็วการส่งข้อมูลขาเข้าได้ เช่น

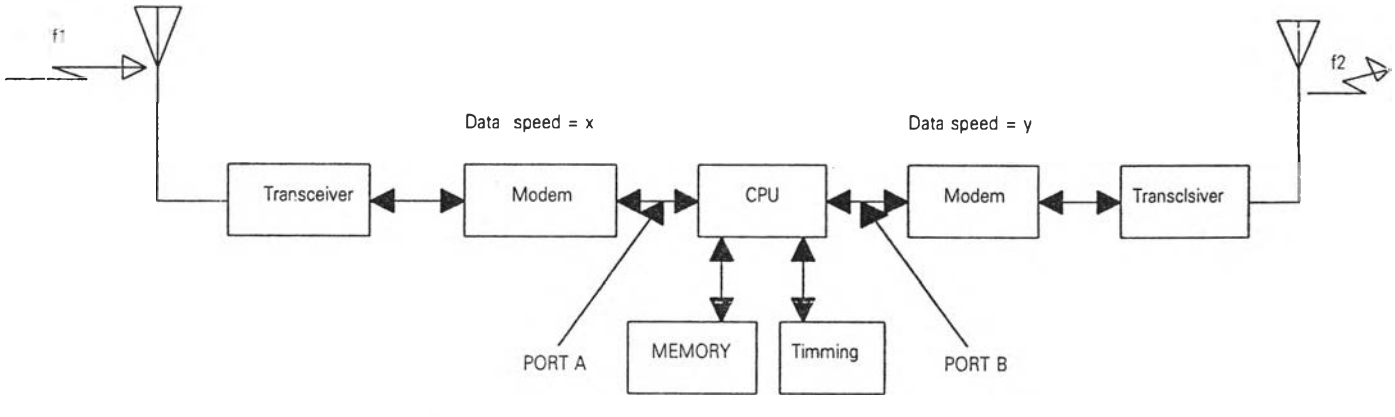


รูปที่ 2.8 อุปกรณ์ทวนสัญญาณแบบดิจิตอล

สัญญาณขาเข้า 300 บิต/วินาที ทำงานที่ความถี่ 150 MHz

สัญญาณขาออก 1200 บิต/วินาที ทำงานที่ความถี่ 420 MHz

อุปกรณ์ทวนสัญญาณแบบมัลติพอร์ทมีฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมดังรูป 2.9

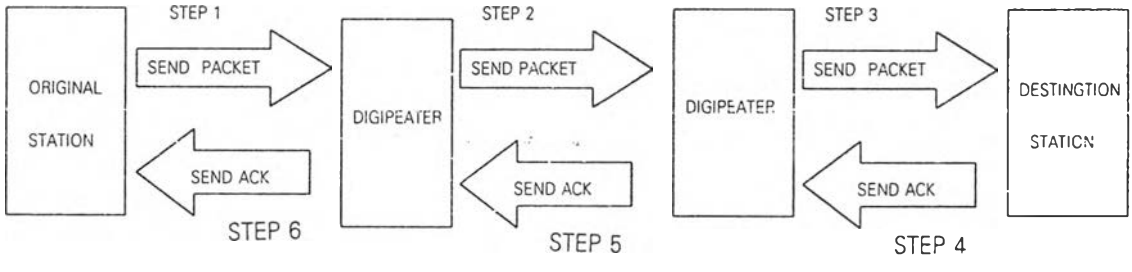


รูปที่ 2.9 อุปกรณ์ทวนสัญญาณดิจิตอลแบบมัลติพอร์ต

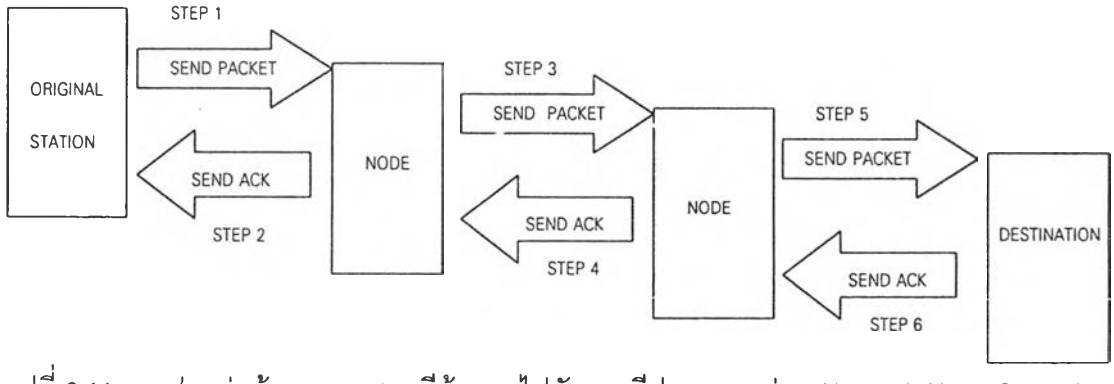
อุปกรณ์ทวนสัญญาณดิจิตอลแบบมัลติพอร์ตไม่สามารถใช้กับ TNC แบบมาตรฐานได้ การใช้งานกับ TNC จะต้องมีอุปกรณ์พิเศษต่อเพิ่มให้กับ TNC

2.7 ตัวควบคุมเนตเวิร์กโนด (Network Node Controller : NNC)

เป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อควบคุมจัดการกับเส้นทางภายในเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ยังไม่เป็นมาตรฐานนานาชาติ แต่ปัจจุบันนี้ในเครือข่ายนักวิทยุสมัครเล่นประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นที่นิยมกันมาก ความแตกต่างของ Digipeater และตัวควบคุมเนตเวิร์กโนด คือ การทำงาน TNC ส่งกลุ่มข้อมูลผ่าน Digipeater จะเป็นไปในลักษณะ End-to-End Acknowledgment แต่ถ้า TNC ส่งข้อมูลผ่าน ตัวควบคุมเน็ทเวอร์โนดการทำงานจะเป็นไปในลักษณะ Node-to-Node Acknowledgment ตามรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การส่งกลุ่มข้อมูลจากสถานีต้นทางไปยังสถานีปลายทางผ่าน Digipeater ทำงานในลักษณะ End-to-End Acknowledgment



รูปที่ 2.11 การส่งกลุ่มข้อมูลจากสถานีต้นทางไปยังสถานีปลายทางผ่าน Network Node Controller ทำงานในลักษณะ Node-to-Node Acknowledgment

จากรูปที่ 2.10 และ 2.11 การทำงานของเครือข่ายโดย TNC ส่งกลุ่มข้อมูลผ่าน Digipeater แบบโพรโทคอล AX.25 นั้น สถานีต้นทางจะต้องรู้ว่า กลุ่มข้อมูลที่ส่งผ่านจะส่งผ่าน Digipeater มีนามเรียกขานใดบ้างและต้องรู้ว่าลำดับการส่งผ่านเป็นอย่างไร กลุ่มข้อมูลจะถูกส่งไปยังสถานีปลายทาง และส่งสัญญาณตอบรับกลับมาผ่าน Digipeater ชุดเดิม ซึ่งลำดับการส่งผ่านจะต้องเป็นไปตามลำดับย้อนกลับไปยังสถานีต้นทาง ถ้าเกิดสัญญาณตอบรับเกิดถูกรบกวนและเกิดความผิดพลาดของสัญญาณระหว่างทาง สถานีต้นทางจะต้องส่งกลุ่มข้อมูลมาใหม่ โดยที่สถานีต้นทางจะไม่ทราบเลยว่า เกิดตามผิดพลาดของสัญญาณในส่วนใดของเส้นทาง ส่วนการทำงานของเครือข่าย โดย TNC ส่งกลุ่มข้อมูลผ่าน Network Node Controller ตามแบบโพรโทคอล AX.25 สถานีต้นทางไม่จำเป็นต้องรู้ว่ากลุ่มข้อมูลที่ส่งผ่านไปยังปลายทางจะต้องผ่านเส้นทางใดบ้าง Network Node Controller จะเป็นตัวจัดการเส้นทางเอง เมื่อ Network Node Controller ตัวแรกรับกลุ่มข้อมูลแล้วก็จะส่งสัญญาณตอบรับกลับไปให้ TNC แล้วส่งกลุ่มข้อมูลให้ Network Node Controller ตัวต่อไปพร้อมทั้งรอสัญญาณตอบรับ จนกระทั่งกลุ่มข้อมูลถูกส่งไปถึงสถานีปลายทาง ถ้าเกิดความผิดพลาดของสัญญาณกลุ่มข้อมูลขึ้นที่ Node ใด Node นั้นก็จะส่งกลุ่มข้อมูลออกไปใหม่ เพื่อรอการตอบรับการทำงานในลักษณะเช่นนี้ ทำให้รู้ว่าเกิดปัญหาที่ส่วนใดของเส้นทาง

ในระบบที่มี Network Node Controller นี้ TNC จะต้องรู้ว่าโนดท้องถิ่น (Local Node) ที่จะติดต่อมีนามเรียกขานว่าอย่างไร และเมื่อ TNC ติดต่อกับโนดท้องถิ่นได้แล้วก็สามารถที่จะติดต่อกับสถานีปลายทางได้

เนื่องจาก Network Node Controller ยังไม่เป็นอุปกรณ์มาตรฐานนานาชาติ จึงขอกล่าวในที่นี้ไว้เพียงสังเขป

3 โพรโทคอลเข้าถึงวิทยุกลุ่มข้อมูล (Packet Radio Access Protocol)

ในเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล สิ่งที่สำคัญที่สุดและถือได้ว่าเป็นตัวกำหนดสมรรถภาพของระบบโปรโตคอลเข้าถึงหรือการเข้าใช้ช่องสัญญาณ (channel control) ซึ่งมีความหมายถึงการที่จะทำให้สถานีสื่อสารข้อมูลหลาย ๆ สถานีสามารถใช้ช่องสัญญาณช่องหนึ่งร่วมกันได้ อีกทั้งยังเป็นการใช้ทรัพยากรความถี่อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

เครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูลที่ใช้โพรโทคอลแบบ AX.25 นั้น นิยมใช้โพรโทคอลเข้าถึงอยู่ 3 แบบ คือ

ก. ระบบ ALOHA

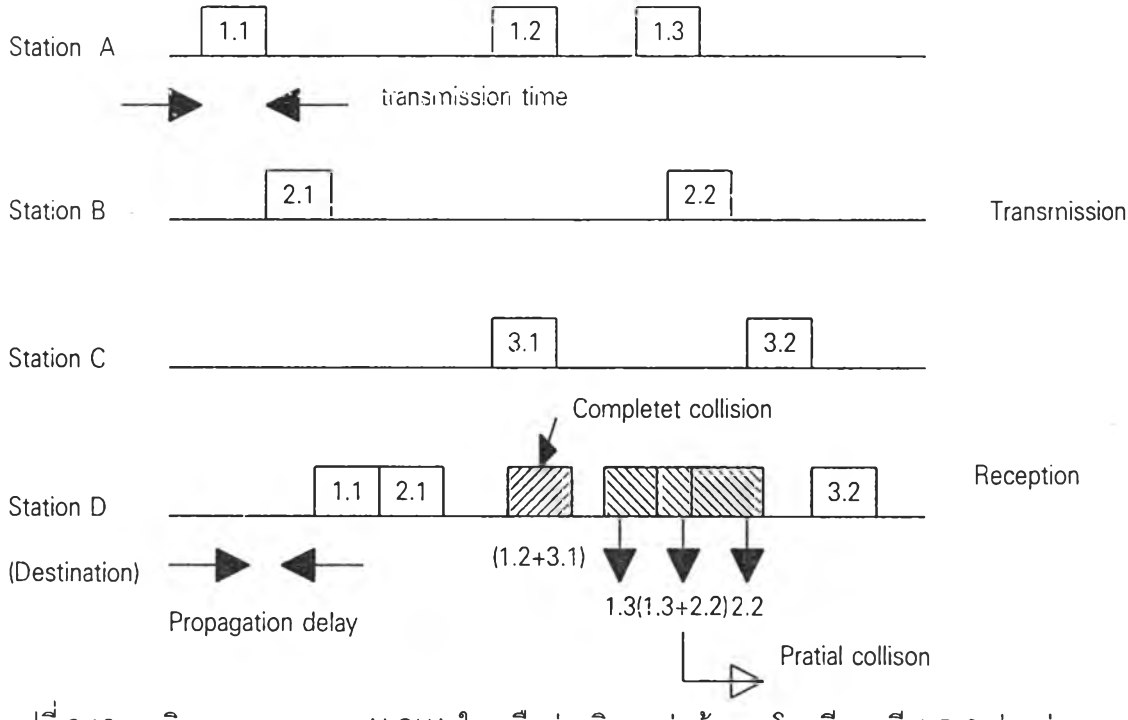
ข. ระบบ SLOTTED ALOHA

ค. ระบบ CSMA

3.1 ระบบ ALOHA

เป็นเทคนิคการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบสุ่ม (Random Acess) ระบบนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นที่มหาวิทยาลัยฮาวาย หลักการของระบบนี้คือ เมื่อสถานีสื่อสารข้อมูลที่จะทำการส่งกลุ่มข้อมูลทันทีโดยไม่คำนึงถึงสถานีสื่อสารข้อมูลอื่นๆที่ใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน หลังจากนั้นสถานีที่ส่งข้อมูลจะทำการรอสัญญาณตอบรับช่วงเวลาหนึ่งถ้าหากไม่มีสัญญาณตอบรับจากสถานีคู่สื่อสาร จะถือว่ากลุ่มข้อมูลที่ตนส่งชนกับกลุ่มข้อมูลจากสถานีสื่อสารอื่นๆและจะทำการรอเป็นเวลาค่าสุ่ม (Random amount of Time) ก่อนที่จะทำการส่งกลุ่มข้อมูลใหม่

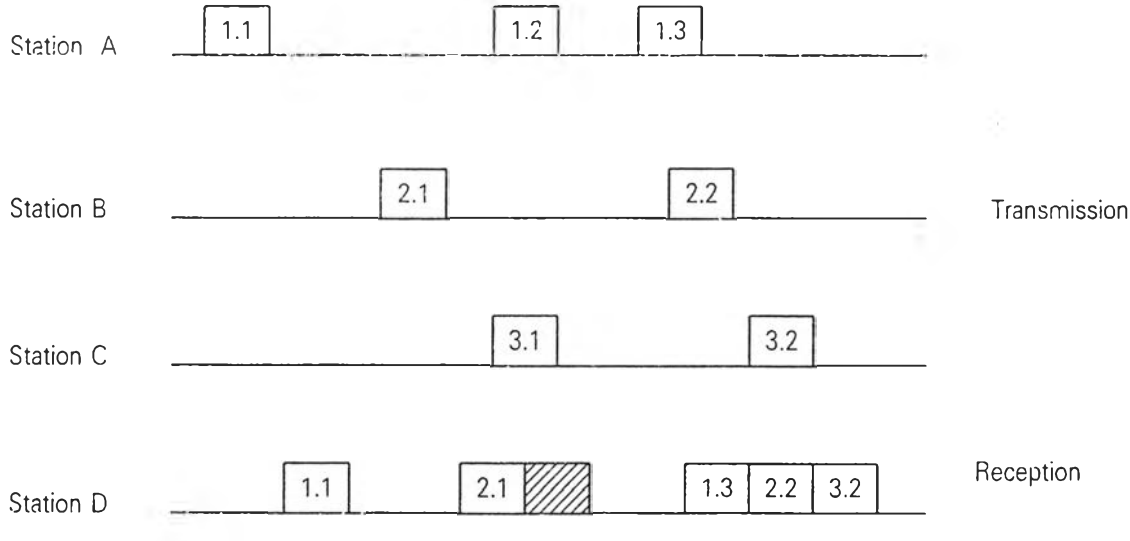
เหตุผลที่สถานีสื่อสารข้อมูลต้องทำการรอ (Back-off Time) ด้วยเวลาค่าสุ่มนั้นเนื่องจากต้องการหลีกเลี่ยงไม่ให้สถานีสื่อสารข้อมูล 2 สถานี หรือมากกว่า ที่ส่งกลุ่มข้อมูลชนกัน ไม่ให้ชนกันซ้ำอีกครั้ง นอกจากนี้กระบวนการตอบรับ (Acknowledgement Process) ก็จะมีรูปแบบขึ้นอยู่กับระบบรับ-ส่งสัญญาณที่ใช้งาน รูปที่ 2.8 แสดงพฤติกรรมของระบบ ALOHA ในเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล



รูปที่ 2.12 พฤติกรรมของระบบ ALOHA ในเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล โดยมีสถานี A,B,C ส่งกลุ่มข้อมูลให้สถานี D เป็นสถานีรับกลุ่มข้อมูล

3.2 ระบบ SLOTTED ALOHA

เป็นระบบที่ทำการพัฒนาจากระบบ ALOHA โดยพยายามลดช่วงเวลาที่ช่องสัญญาณจะเสียไปหากข้อมูลเกิดการชนกันขึ้น เนื่องจากในระบบ ALOHA นั้นไม่มีการ Synchronization ระหว่างสถานีสื่อสารข้อมูล หมายความว่าสถานีสื่อสารข้อมูลจะทำการส่งกลุ่มข้อมูลเวลาใดก็ได้ ดังนั้นข้อมูลเกิดการชนกันขึ้น (การชนกันเกิดขึ้นเมื่อส่วนใดๆของกลุ่มข้อมูลหนึ่งเกิดทับกันกับอีกกลุ่มข้อมูลหนึ่ง) จะเกิดการสูญเปล่าของช่องสัญญาณเท่ากับเวลาของการส่งกลุ่มข้อมูลยาว2กลุ่มข้อมูล(ในกรณีที่ระบบมีการรับ-ส่งกลุ่มข้อมูลที่มีความยาวคงที่)SLOTTED ALOHA เป็นระบบที่แก้ไขจุดอ่อนของระบบ ALOHA ในส่วนนี้โดย SLOTTED ALOHA จะใช้ความยาวของกลุ่มข้อมูลที่มีค่าคงที่และมีการรับ-ส่ง กลุ่มข้อมูลแบบ Synchronize ระหว่างสถานีสื่อสารข้อมูลทุกสถานี เพื่อกำหนดการเริ่มส่งข้อมูล ซึ่งจะทำให้เวลาที่ช่องสัญญาณจะเสียไปเหลือเพียง ความยาว 1 กลุ่มข้อมูลเท่านั้น รูปที่ 2.13 แสดงพฤติกรรมของระบบ SLOTTED ALOHA ในเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล



รูปที่ 2.13 พฤติกรรมของระบบ SLOTTED ALOHA ในเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล

2.1.3.3 ระบบ CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

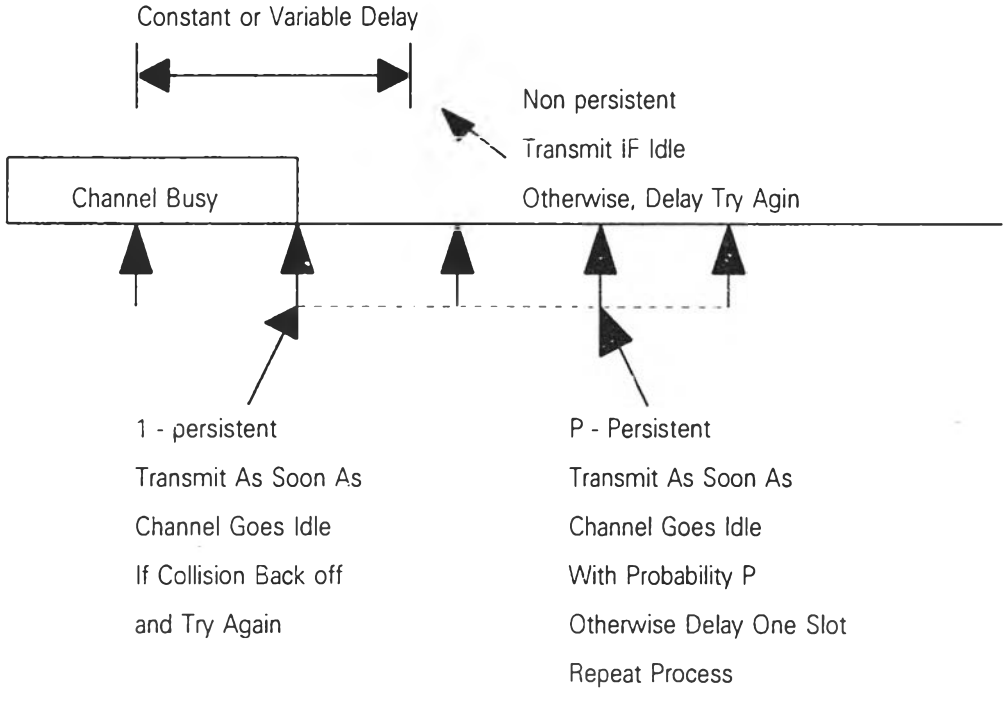
ในระบบ ALOHA และ SLOTTED ALOHA มีหลักการที่เหมือนกันคือการให้แต่ละสถานีในระบบใช้การแย่งชิง (Contention) ช่องสัญญาณกัน แต่ระบบ CSMA เป็นระบบที่ใช้เทคนิคลดระดับการช่วงชิง (Contention Minimization) วิธีการลดระดับการช่วงชิงระหว่างสถานีสื่อสารข้อมูล โดยพยายามหลีกเลี่ยงการรับ-ส่งกลุ่มข้อมูลในขณะสถานีสื่อสาร

ข้อมูลใด ๆ กำลังใช้งานช่องสัญญาณอยู่ โดยยึดหลักการว่า สถานีสื่อสารข้อมูลที่จะทำการส่งข้อมูลจะตรวจสอบสถานภาพของช่องสัญญาณว่ามีสถานีใดใช้งานหรือไม่ หลักการนี้จะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อช่องสัญญาณมีการหน่วงเวลารับ-ส่ง (Propagation Delay) ต่ำ

ระบบ CSMA นี้ยังได้มีการพัฒนารูปแบบของการทำงานออกเป็น 3 โมด ได้แก่ 1 - persistent, Nonpersistent, p-persistent ในกรณีของ 1 - persistent CSMA สถานีสื่อสารข้อมูลจะตรวจสอบช่องสัญญาณก่อนทำการส่ง สถานีสื่อสารข้อมูลจะทำการตรวจสอบไปจนกระทั่งช่องสัญญาณว่างก็จะทำการส่งกลุ่มข้อมูลในทันที ในกรณีที่มีสถานีสื่อสารข้อมูลมากกว่า 1 สถานี รอช่องสัญญาณว่างและส่งกลุ่มข้อมูลในช่องสัญญาณพร้อมกันกลุ่มข้อมูลจะเกิดการชนกันขึ้น สถานีสื่อสารข้อมูลที่ส่งกลุ่มข้อมูล นั้นจะรอด้วยค่าเวลาสุ่มค่าหนึ่ง (ซึ่งแน่นอนว่าเวลาที่แต่สถานีรอนั้นจะไม่เท่ากัน) ก่อนที่จะทำการส่งข้อมูลนั้นใหม่อีกครั้ง

ในโมดของ Nonpersistent สถานีสื่อสารข้อมูลต้องการส่งกลุ่มข้อมูลจะตรวจสอบช่องสัญญาณ ถ้าช่องสัญญาณว่างก็จะส่งกลุ่มข้อมูลทันที ถ้าช่องสัญญาณไม่ว่างสถานี สื่อสารข้อมูลนั้นหยุดการตรวจสอบไปด้วยเวลาสุ่มค่าหนึ่งแล้วจึงเริ่มตรวจสอบใหม่ และจะกระทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าช่องสัญญาณว่างแล้วจึงส่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีนี้ ประสิทธิภาพของการใช้ช่องสัญญาณจะสูงกว่า 1 - persistent CSMA หากแต่ว่าจะมีค่าหน่วงเวลาในการส่งสัญญาณสูงกว่า

ในโมดของ p-persistent ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้กับระบบที่มีการใช้หลายช่องความถี่โดยมีหลักการคือสถานีสื่อสารข้อมูลจะทำการตรวจช่องสัญญาณ หากไม่ว่างเครื่องจะรอตรวจสอบช่องสัญญาณช่องถัดไป แต่ถ้าหากช่องสัญญาณว่าง สถานีสื่อสารข้อมูลจะทำการส่งข้อมูลด้วยความน่าจะเป็น P (ซึ่งหมายความว่า สถานีจะมีความน่าจะเป็นที่จะส่งข้อมูลในช่องสัญญาณถัดไปเท่ากับ 1-P) ถ้าหากช่องสัญญาณถัดไปว่าง สถานีสื่อสารข้อมูลก็จะมีความน่าจะเป็นในการส่งกลุ่มข้อมูลเท่ากับ P เป็นเช่นนี้ ไปเรื่อย ๆ แต่หากตรวจสอบพบว่าช่องสัญญาณไม่ว่างเครื่องจะหยุดรอด้วยเวลาค่าสุ่มค่าหนึ่ง แล้วจึงเริ่มตรวจสอบช่องสัญญาณใหม่ รูป 2.14 แสดงพฤติกรรม CSMA ในเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล



รูปที่ 2.14 พฤติกรรมการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ CSMA

ระบบวิทยุสื่อสารแบบสองทาง นั้นส่วนมากทำงานในลักษณะ Half-Duplex ดังนั้นจึงไม่สามารถตรวจสอบสัญญาณระหว่างส่งข้อมูลได้และไม่สามารถใช้การเข้าถึงแบบ CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) ได้ และระบบวิทยุที่เป็นการผสมสัญญาณแบบ FM เมื่อกลุ่มข้อมูลสองชุดเกิดการชนกันจะสามารถดึงข้อมูลกลับได้อย่างถูกต้อง การดึงกลับนั้นจะดึงจากแหล่งที่มีกำลังสูงสุดเรียกวิธีนี้ว่า Capture effect [2]

คุณสมบัติที่น่าสนใจของ Capture Effect ก็คือว่าในการใช้งาน สถานีที่อยู่ใกล้กว่าจะส่งข้อมูลได้มากกว่าสถานีที่อยู่ไกลออกไปเนื่องจากสถานีที่อยู่ใกล้กว่าจะมีขนาดสัญญาณแรงกว่า ดังนั้นเมื่อมีการชนกันของกลุ่มข้อมูล สถานีที่มีกำลังสูงจะชนะเสมอและกลุ่มข้อมูลก็จะไม่เสียหายด้วย ซึ่งทั้งนี้ Capture Effect ขึ้นกับคุณสมบัติเครื่องรับส่งวิทยุแต่ละยี่ห้อด้วย

ไม่ว่าโพรโทคอลเข้าถึงจะเป็นวิธีใดก็ตาม การวัดประสิทธิภาพของเครือข่ายจะวัดจากค่าที่เรียกว่า throughput เป็นค่าที่บอกว่า การส่งข้อมูลมีโอกาสเท่าใดที่เฟรมที่ส่งออกจะไม่-

ชนกัน เมื่อเทียบกับจำนวนกลุ่มข้อมูลที่ส่งออกมาทั้งหมดภายใต้สภาวะเดียวกัน [6] โดยเราสรุป throughput แต่ละระบบดังนี้

ก. ระบบ ALOHA ให้ค่า throughput สูงสุดที่ 18%

ข. ระบบ SLOTTED ALOHA ให้ค่า throughput สูงสุดที่ 36%

ค. ระบบ CSMA ให้ค่า throughput สูงสุดที่ประมาณ 50%

(ในกรณี CSMA 1 - persistent)

สถาปัตยกรรมเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล และแบบจำลอง Open System Interconnection (OSI)

แบบจำลอง Open System Interconnection (OSI) เป็นชุดมาตรฐานในการสื่อสาร ทำให้สิ่งแวดล้อมเหมาะสมในการเคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่างชุดทำงาน 2 ชุด [16] แบบจำลอง OSI แบ่งออกได้เป็น 7 Layers โดยขอกล่าวโดยสรุปดังนี้

1.ฟีสิคัลเลเยอร์ (Physical layer)

ภายใน physical layer จะเป็นการเกี่ยวพันกับการส่งข้อมูลดิบเป็นบิตผ่านช่องสื่อ-สารข้อมูล วิธีการออกแบบจะต้องทำให้แน่ใจได้ว่าข้อมูล "1" ที่ส่งออกไปและที่ปลายทางสามารถรับ "1" ได้ถูกต้อง คำถามที่เกี่ยวข้องก็คือจะต้องใช้แรงดันเท่าใดสำหรับแทนเลข "1" และเท่าใดสำหรับแทนเลข "0" และแต่ละบิตจะต้องห่างกันเท่าใด การส่งข้อมูลสามารถทำแบบสองทิศทางได้หรือไม่ ก่อนจะเริ่มต้นส่งข้อมูลจะต้องทำให้เกิดการเชื่อมอย่างไร และเมื่อส่งเสร็จแล้วจะยกเลิกการต่ออย่างไร ลึกลงไปอีกก็คือ คอนเนกเตอร์ (connector) ของเนตเวิร์กจะใช้กี่ขา และแต่ละขาทำหน้าที่อะไร จะเห็นว่าประเด็นที่ต้องสนใจจะเกี่ยวกับทั้งทางไฟฟ้า ทางรูปร่างภายนอกและก็ทั้งวิธีการเชื่อมต่อ รวมทั้งตัวกลางที่อยู่ใต้ physical layer ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลจริง ๆ

2. ดาตาลิงก์เลเยอร์ (Data link layer)

จุดประสงค์หลักของดาตาลิงก์เลเยอร์ก็คือ พยายามทำให้การส่งข้อมูลดิบเหมือนกับไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น ทำให้เลเยอร์ที่สูงขึ้นไป (ซึ่งก็คือเนตเวิร์กเลเยอร์) นำไปใช้งานได้ถูกต้อง วิธีการก็คือทางฝ่ายส่งจะทำการแตกข้อมูลออกเป็นก้อน ๆ เรียกว่า เฟรมข้อมูล

(data-frame) (ปกติประมาณไม่กี่ร้อยไบต์) ทำการส่งเฟรมข้อมูลออกไปทีละชุดและรอรับการตอบรับ (acknowledge frame) ซึ่งตอบกลับมาโดยผู้รับ โดยปกติแล้วฟีสิคัลเลเยอร์จะไม่สนใจข้อมูลว่ามีความหมายใด จึงเป็นหน้าที่ของดาตาลิงก์เลเยอร์ ที่จะต้องทำการสร้างและตรวจรับขอบเขตของเฟรม (frame boundary) ซึ่งสามารถทำได้โดยการเติมบิตเข้าไปในจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของเฟรม แต่จุดที่ต้องระวังก็คือถ้าหากข้อมูลที่เพิ่มเข้าไปซ้ำกับข้อมูลที่ต้องการส่งจริง ๆ

สัญญาณรบกวนจากภายนอกก็เป็นปัญหาหนึ่งที่อาจจะทำให้เฟรมขาดหายไปได้ ในกรณีนี้โปรแกรมที่ควบคุม ดาตาลิงก์เลเยอร์ที่เครื่องต้นทางจะส่งข้อมูลซ้ำมาใหม่ อย่างไรก็ตามการส่งเฟรมเดียวกันออกมาหลายๆครั้งก็อาจจะทำให้เกิดเฟรมซ้ำกันได้ วิธีการป้องกันก็คือเฟรมที่ซ้ำกันจะส่งออกไปก็ต่อเมื่อมีการตอบรับ (acknowledgment frame) ส่งมาบอกว่าข้อมูลหายหรือถูกทำลายไปก่อน ภายในดาตาลิงก์เลเยอร์จะมีการเชื่อมต่อ (interface) หลายๆแบบเพื่อให้เนตเวิร์กเลเยอร์สามารถเลือกใช้ได้

ข้อที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่งก็คือ ทำอย่างไรจึงจะให้ทางฝั่งที่ส่งข้อมูลซึ่งส่งเร็วกว่าทางฝั่งรับ สามารถทำงานได้ วิธีการบางอย่างที่น่าสนใจก็คือการระบายปริมาณการสื่อสารให้สม่ำเสมอโดยการพักข้อมูลในบัฟเฟอร์ (buffer) ข้อมูลไว้ชั่วคราวแล้วค่อยส่งต่อออกไป

3. เนตเวิร์กเลเยอร์ (Network layer)

ภายในเนตเวิร์กเลเยอร์จะเกี่ยวข้องกับการควบคุมการทำงานของซับเน็ต ประเด็นที่สำคัญก็คือการพิจารณาว่าแพ็กเกตจะถูกส่งจากต้นทางไปยังปลายทางได้อย่างไร การหาเส้นทาง (route) อาจจะวางอยู่บนตารางที่คงที่อยู่และเชื่อมโดยตรงเข้ากับเนตเวิร์กและมีการเปลี่ยนตารางน้อยมาก การกำหนดเส้นทางจะกำหนดตอนเริ่มต้นติดต่อเลยก็ได้ หรืออาจจะใช้วิธีที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา (dynamic) ซึ่งเส้นทางที่แพ็กเกตเดินทางไปจะถูกกำหนดแบบแพ็กเกตต่อแพ็กเกต

ถ้ามีจำนวนแพ็กเกตมากเกินไปภายในซับเนตจะทำให้เกิดปัญหาคอขวด คือจำนวนแพ็กเกตเข้ามามากแต่ทางออกน้อย ภายในเนตเวิร์กเลเยอร์จะต้องจัดการกับปัญหาเหล่านี้ด้วย

การจัดการด้านการเงินก็เป็นเรื่องหนึ่งภายในเนตเวิร์กเลเยอร์อย่างน้อยที่สุด ซอฟต์แวร์ภายในเลเยอร์นี้จะต้องนับจำนวนแพ็กเกตหรือจำนวนตัวอักษรที่ส่งโดยลูกค้าเพื่อจะได้นำไปทำบิลเก็บเงิน แต่ถ้าหากว่ามีการส่งแพกเก็ตข้างระหว่างประเทศการคิดเงินก็จะต้องคิดถึงอัตราที่ต่างกันของแต่ละฝั่ง ซึ่งจะทำให้ซับซ้อนมากขึ้นได้

เมื่อแพ็กเกตจะต้องเดินทางจากเนตเวิร์กหนึ่งไปยังอีกเนตเวิร์กหนึ่งจะทำให้เกิดปัญหาต่างๆขึ้นเช่น แอดเดรสของเนตเวิร์กที่ 2 อาจจะแตกต่างจากเนตเวิร์กที่ 1 ทำให้เนตเวิร์กที่ 2 ไม่สามารถรับแพ็กเกตนี้ได้เลย หรือโพรโทคอลที่ใช้อาจจะแตกต่างกันเนตเวิร์กเลเยอร์จะต้องจัดการกับปัญหาเหล่านี้เพื่อให้เนตเวิร์กทั้งหลายต่อถึงกันได้เสมือนเนตเวิร์กเดียวกัน

ในระหว่างเนตเวิร์กแบบกระจาย (broadcast network) วิธีการหาเส้นทางของแพ็กเกตจะง่ายมาก ทำให้ เนตเวิร์กเลเยอร์มีขนาดเล็กหรืออาจจะไม่มีเลยก็ได้

4.ทรานส์พอร์ตเลเยอร์ (Transport layer)

หลักการทำงานของ ทรานส์พอร์ตเลเยอร์ ก็คือคอยติดต่อกับ เซสชันเลเยอร์ แยกข้อมูลให้มีขนาดพอเหมาะสมและส่งต่อให้ เนตเวิร์กเลเยอร์ พร้อมทั้งคอยตรวจสอบว่าข้อมูลได้ถูกส่งไปถึงปลายทางอย่างเรียบร้อยหรือไม่ ทั้งหมดนี้จะต้องทำให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อเป็นการแยกให้ เซสชันเลเยอร์ เป็นอิสระออกจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านฮาร์ดแวร์

ภายใต้ภาวะปกติ ทรานพอร์ตเลเยอร์ จะสร้างคอนเน็คชั่นของเนตเวิร์กสำหรับแต่ละคู่ของ ทรานพอร์ตเลเยอร์ (กับอีกฝั่งหนึ่ง)แต่ถ้ามีการขอเพิ่มประสิทธิภาพการส่งข้อมูล ทรานพอร์ตเลเยอร์ ก็จะทำการสร้างการคอนเน็คชั่นของเนตเวิร์กขึ้นมาหลายๆ ชุดก็ได้ และทำการแบ่งข้อมูลออกส่งไปตามคอนเน็คชั่นของเนตเวิร์กต่างๆหรืออีกแง่หนึ่งถ้าหากการสร้างคอนเน็คชันของเนตเวิร์กมีราคาแพง ทรานส์พอร์ตเลเยอร์ก็จะใช้วิธีการมัลติเพล็กซ์หลายๆคอนเน็คชั่นของทรานพอร์ตเลเยอร์เข้าไปในคอนเน็คชั่นของเนตเวิร์กเดียว อย่างไรก็ตามทรานส์พอร์ตเลเยอร์จะต้องทำงานไปพร้อมๆกันกับเซสชันเลเยอร์

นอกจากนี้ทรานส์พอร์ตเลเยอร์ยังต้องคอยดูว่าจะต้องให้บริการชนิดใดแก่เซสชันเลเยอร์ ความต้องการของผู้ใช้เนตเวิร์กชนิดที่นิยมใช้กันแพร่หลายก็เช่นไม่มีความผิดพลาดและจุดถึงจุด (serror tree point-to-pint) ซึ่งจะส่งข้อมูลตามลำดับที่เข้ามาใน ทรานส์พอร์ตเลเยอร์ชนิดอื่นๆที่เป็นไปได้ก็มีเช่นส่งข้อมูลที่เป็นอิสระต่อกันแต่ไม่มีการเรียงลำดับการรับและการส่ง, แบบกระจายของข้อมูลสู่หลาย ๆ จุดปลายทาง ปกติแล้วชนิดของการให้บริการจะถูกกำหนดตอนที่สร้างคอนเน็คชั่น (connection establishment)

5.เซสชันเลเยอร์ (Session layer)

บนเซสชันเลเยอร์จะยอมให้ผู้ใช้งานจัดตั้งเซสชันระหว่างเครื่องกระบวนการ เซสชันจะยอมให้มีการส่งข้อมูลเช่นเดียวกับทรานพอร์ตเลเยอร์ แล้วยังมีการเพิ่มการให้บริการที่

ก้าวหน้ามากกว่าอีก เช่นยอมให้ผู้ใช้งานเข้าไป (login) ยังเครื่องที่อยู่ระหว่าง (remote system) หรือทำการถ่ายไฟล์ระหว่างเครื่อง

บริการอีกอย่างของเซสชันเลเยอร์ ก็คือการจัดการการสนทนา(dialogue)เซสชันจะยอมให้การส่งผ่านได้ทั้งสองทางในเวลาเดียวกันหรือทิศทางในเวลาเดียว ถ้าเป็นการส่งในทิศทางเดียวท เซสชันเลเยอร์จะช่วยในจัดทิศใดว่าถึงคราวฝ่ายใดจะส่งและรับ

มีบริการอื่นที่เกี่ยวข้องอีกก็คือ การจัดการ"โทเค็น"(token) ในโพรโทคอลบางแบบมีความจำเป็นที่ทั้งสองฝั่งจะทำการสิ่งใดๆเหมือนกันในเวลาเดียวกันไม่ได้ จะต้องมีวิธีควบคุมการกระทำเหล่านี้ ซึ่งเซสชันเลเยอร์ จะใช้โทเค้นเป็นตัวแลกเปลี่ยนระหว่างทั้งสองเครื่องมีเพียงเครื่องที่ถือโทเค็นอยู่เท่านั้นจึงจะทำงานได้ก่อน

นอกจากนี้ยังมีบริการอีกอย่างคือการ ซิงโครไนเซชัน (synchronization) หรือการทำให้ทั้งสองระบบทำงานสัมพันธ์กัน ลองพิจารณาปัญหาของการถ่ายไฟล์ระหว่าง 2 เครื่องที่ใช้เวลาร่วม 2 ชั่วโมง บนเนตเวิร์กที่มีค่าเฉลี่ยของการเสียหายประมาณ 1 ชั่วโมง หลังจากการถ่ายข้อมูลถูกหยุดกลางทาง กระบวนการถ่ายข้อมูลทั้งหมดจะต้องเริ่มต้นใหม่อีกครั้งและอาจจะเกิดการเสียหายของเนตเวิร์กได้อีก เซสชันเลเยอร์จะจัดการปัญหานี้โดยการใส่จุดตรวจสอบเข้าในข้อมูลทำให้หลังจากเกิดความเสียหายแก่เนตเวิร์กและกลับมาถ่ายข้อมูลใหม่ จะทำให้สามารถถ่ายข้อมูลต่อจากจุดเดิมได้ทันทีไม่ต้องไปเริ่มต้นใหม่

6.พรีเซนเทชันเลเยอร์ (Presentation layer)

บนพรีเซนเทชันเลเยอร์จะมีฟังก์ชั่นที่จะให้แก่ผู้ใช้สำหรับแก้ปัญหาในบางระดับโดยที่ผู้ใช้ไม่ต้องเข้าไปแก้ปัญหาเอง ซึ่งจะต่างกับเลเยอร์ระดับล่างก็คือในระดับล่างจะสนใจเพียงการทำให้บิตของข้อมูลรับส่งได้อย่างถูกต้องเท่านั้น แต่พรีเซนเทชันเลเยอร์จะสนใจในวากยสัมพันธ์(syntax)และความเปลี่ยนแปลงในความหมายของคำ(semantic)ของข้อมูลที่ส่งผ่านด้วย

ตัวอย่างที่เห็นได้ง่ายก็คือ การเข้ารหัสข้อมูล โดยปกติโปรแกรมของผู้ใช้งานจะไม่ได้ทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลแต่เพียงข้อมูลดิบเท่านั้น จะมีข้อมูลเช่น ชื่อของคน, วันที่, จำนวนเงินและใบเรียกเก็บเงิน ข้อมูลเหล่านี้จะถูกแทนด้วยข้อมูลแบบตัวอักษร, แบบตัวเลข, แบบเลขทศนิยม แต่ละเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีการแทนรหัสที่แตกต่างกันสามารถสื่อสารกันได้ รหัสที่ใช้งานรวมทั้งโครงสร้างของข้อมูลจะต้องถูกกำหนดให้มีหลักการให้ตรงกัน การกำหนดและการเปลี่ยนไป

มาจากรหัสที่แทนอยู่ภายในเครื่องไปเป็นรหัสที่มีการใช้เป็นมาตรฐานในเนตเวิร์กเป็นหน้าที่ของพรีเซนเทชันเลเยอร์ นั่นเอง

นอกจากนี้ยังทำหน้าที่อื่น ๆ เช่น การลดขนาดของข้อมูล (data compression) เพื่อเป็นการลดขนาดของข้อมูล (data compression) เพื่อเป็นการลดจำนวนบิทของข้อมูลที่จะใช้ส่ง และยังอาจจะทำการเข้ารหัสเพื่อป้องกันไม่ให้มีการขโมยข้อมูลที่เป็นความลับ

7.แอปพลิเคชันเลเยอร์ (Application layer)

ภายใน แอปพลิเคชันเลเยอร์ จะประกอบด้วยโพรโทคอลชนิดต่าง ๆ มากมาย ที่มักจะเป็นที่ต้องการ ลองพิจารณาเทอร์มินอลชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในโลกนี้ แต่ละเครื่องจะมีลักษณะไม่เหมือนกันมีลักษณะจอภาพขนาดไม่เท่ากันมีการควบคุมการแสดงผลไม่เหมือนกัน (เช่น ESC sequence ใช้สำหรับแทรกหรือลบตัวอักษรเลื่อนเคอร์เซอร์เป็นต้น)

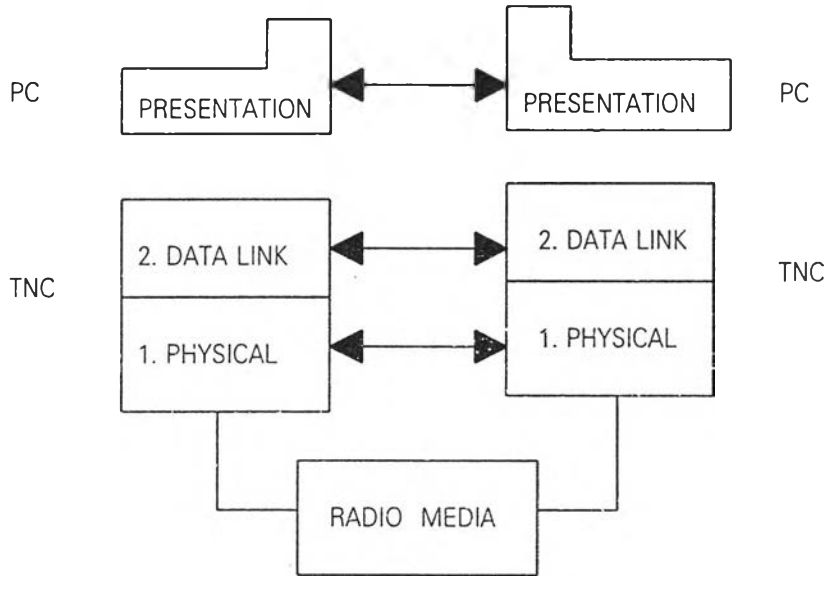
วิธีทางหนึ่งที่จะแก้ปัญหานี้ก็คือ กำหนด เทอร์มินอลเสมือนสำหรับเนตเวิร์ก (network virtual terminal) ขึ้นมา ซึ่งเป็นตัวกลางที่โปรแกรมแก้ไขข้อความ (edit) หรือโปรแกรมอื่น ๆ จะติดต่อด้วย สำหรับเทอร์มินอลแต่ละแบบจะต้องมีโปรแกรมที่ตัวเทอร์มินอลเพื่อทำการแปลงรหัสของเทอร์มินอลเสมือน (virtual termianl) ไปเป็นการควบคุมเทอร์มินอลจริง ๆ เช่นเมื่อโปรแกรมแก้ไขข้อความ (edit) เลื่อนเคอร์เซอร์บนเทอร์มินอลเสมือน (virtual terminal) ไปยังมุมบนด้านซ้าย ตัวโปรแกรมที่เทอร์มินอลนี้จะต้องรับรู้และสามารถทำคำสั่งที่ถูกต้องเพื่อให้เคอร์เซอร์เลื่อนไปที่ตำแหน่งที่ถูกต้องจริง ๆ ลักษณะของโปรแกรมเช่นนี้จะเป็นลักษณะของแอปพลิเคชันเลเยอร์

การประยุกต์แบบอื่น ๆ เช่น การถ่ายไฟล์แต่ละระบบไฟล์จะมีการตั้งชื่อที่ต่าง ๆ กัน มีวิธีการแทนตัวอักษรในแต่ละบรรทัดที่แตกต่างกัน ฉะนั้นการถ่ายเทไฟล์ระหว่างระบบจะต้องเกี่ยวเนื่องในความไม่เหมือนกันเหล่านี้ งานเหล่านี้เป็นหน้าที่โดยตรงของ application layer เช่นเดียวกับในจด-หมายอิเล็กทรอนิกส์ (eiectronic mail) การส่งงานระยะไกล (remote job entry) การขอดูสารบัญชื่อไฟล์ (directory) และอื่น ๆ อีกมาก

8.สถาปัตยกรรมเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูลที่ใช้โพรโทคอลแบบ AX.25

โปรโตคอลของเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล ถูกสร้างขึ้นจากโปรแกรมที่เขียนบนไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเราเรียกอุปกรณ์ นั้นว่าตัวควบคุมเทอร์มินัลโนด (TNC) ซึ่งตัวควบคุมเทอร์มินัลโนดนี้เอง สร้างแบบจำลอง OSI ในฟีสิคัลเลเยอร์ (ส่วนโมเดม) และสร้างแบบจำลอง OSI ใน Link Layer (ส่วนสร้างกลุ่มข้อมูล) ส่วนไมโครคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเทอร์มินัลนั้นจัดเป็น

พรีเซนเทชันเลเยอร์ ในแบบจำลองของ OSI เนื่องจากทำหน้าที่ในการแปลงรหัสเลขฐาน 2 ไปเป็นรหัส ASCII แล้วยังทำหน้าที่ ดูแลคำสั่ง (Command) และการตอบรับ (Response) ระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์และ TNC ปัจจุบัน เครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูลที่ใช้โพรโทคอลแบบ AX.25 ยังไม่ได้กำหนดมาตรฐานใน Network Layer

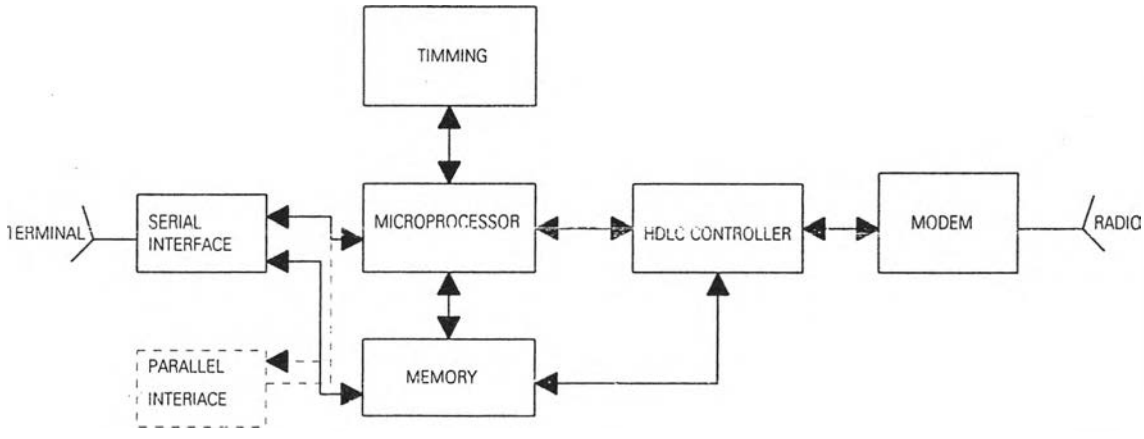


รูปที่ 2.15 สถาปัตยกรรมเครื่อง TNC เครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูล

ตัวควบคุมเทอร์มินัลโนด (Terminal Node Contronller : TNC)

1.โครงสร้างและการทำงานของ TNC

TNC เป็นอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่สำคัญในเครือข่ายวิทยุกลุ่มข้อมูลทำหน้าที่สำคัญในเครือข่าย ตามที่ได้กล่าวมาในหัวข้ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ของระบบ โครงสร้างของ TNC เป็นดังรูป 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างภายใน TNC

จากรูปที่ 2.16 เราอธิบายการทำงานได้ดังนี้ขั้นตอนการส่งข้อมูล ข้อมูลจาก Terminal ถูกส่งผ่านพอร์ตอนุกรม RS232 ไมโครโปรเซสเซอร์รับข้อมูลและจัดการกับข้อมูล โดยส่งข้อมูลไปยัง HDLC Controller ซึ่งเป็นส่วนสร้างกลุ่มข้อมูลให้เป็นเฟรมแบบ High Level Data Link Control (HDLC) โดยมีส่วน Timing ควบคุมการรับ-ส่งตามเวลา และส่วนที่เป็นหน่วยความจำ (Memory) ที่เก็บค่าต่างๆจากนั้นเฟรม HDLC จะถูกส่งผ่านไปยังส่วนโมเดมทำการมอดูเลตสัญญาณให้เป็นสัญญาณแบบ Freguenay shift keying (FSK) แล้วส่งให้เครื่องรับ-ส่งวิทยุ ทำการแผ่กระจายคลื่นออกไป

ขั้นตอนการรับข้อมูล ข้อมูลที่เครื่องรับ-ส่งวิทยุรับเข้ามาจะผ่านส่วนโมเดม ซึ่งจะดีมอดูเลตแล้วส่งต่อให้ HDLC Controller ถอดกลุ่มข้อมูลให้เป็นข้อมูล ซึ่งจะส่งต่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์ แปลความหมายและจัดการกับข้อมูลตามกระบวนการโพรโทคอลแบบ AX.25 และจะส่งผลให้ไมโครคอมพิวเตอร์ แสดงผลโดยผ่านทานพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม RS232 หรืออาจจะส่งข้อมูลนั้นไปทางพอร์ตแบบขนานเพื่อแสดงผลได้เช่นเดียวกัน

2. ตัวควบคุมเทอร์มินัลโนดในกิจการวิทยุสมัครเล่น

ตัวควบคุมเทอร์มินัลโนด (Terminal Node Controller) ในวงการวิทยุสมัครเล่น ซึ่งนักวิทยุสมัครเล่นนิยม ใช้เป็นอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลระหว่างสถานีสื่อสารต่างๆคุณสมบัติทางเทคนิคของตัวควบคุมเทอร์มินัลโนด ที่มีผู้ผลิตและจำหน่ายและนิยมกันอย่างแพร่หลายเป็นดังนี้

Protocal	:	AX.25 level 2 Version 2.0
MODEM	:	Bell 202 (Maximum 1200 BPS)
RS-232 C	:	300, 1200, 2400, 4800, 9600, 19,200 BPS
cable	:	DB 25, DB9
Audio cable	:	3.5 ∅ mm. speaker
		2.5 ∅ mm. microphone/PTT
Input Signal Level	:	100 mVp-p ~ 2 Vp-p
FSK output signal Level	:	0 - 450 mVp-p Adjustable'

โพรโทคอล AX.25

1.เหตุผลในการเลือกโพรโทคอล AX.25

เหตุผลที่เราเลือกโพรโทคอล AX.25 ใช้กับงานวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจาก

ก. โพรโทคอล AX.25 สอดคล้องกับแบบจำลอง OSI

ข. โพรโทคอล AX.25 ได้ถูกสร้างขึ้นเมื่อประมาณ 1 ทศวรรษที่ผ่านมาซึ่งได้ปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ ซึ่งได้พัฒนามาเรื่อยๆเพื่อให้โปรโตคอลชนิดนี้เหมาะกับสภาพแวดล้อมกับการใช้งานแบบที่ใช้สื่อกลางเป็นคลื่นวิทยุ

ค. เป็นโพรโทคอลที่สามารถขยายขีดความสามารถได้ในอนาคต

ง. เป็นโพรโทคอลที่สร้างขึ้นให้สามารถกำหนดชื่อประจำตัวหรือสัญญาณเรียกขาน (Call Sign) ได้เพียงพอต่อการใช้งานในปัจจุบัน

2. ขอบเขตการทำงานของโพรโทคอล AX.25

ในการติดต่อสื่อสารเพื่อส่งผ่านข้อมูลของสถานีรับ-ส่งข้อมูลปลายทาง2จุดใดๆให้มีความเชื่อถือได้ของข้อมูล จำเป็นจะต้องมีการกำหนดโพรโทคอล ที่จะสามารถส่ง-รับข้อมูลได้บนเส้นทางของระบบสื่อสาร AX.25ซึ่งเป็นโพรโทคอลชั้นเชื่อมต่อข้อมูล (Link-Layer protocol)ถูกสร้างขึ้นมาสำหรับบริการส่งผ่านข้อมูลโดยเป็นอิสระไม่ขึ้นกับชั้นของการส่งผ่านอื่นๆซึ่งอาจจะมีหรือไม่มีก็ได้

โพรโทคอลชนิดนี้ได้รับการพัฒนามาจากหลักการของมาตรฐาน CCITT X.25 ยกเว้นการขยายฟิลด์ที่อยู่ และเพิ่มเฟรมแบบไม่มีลำดับ (Unnumbered Information)

จากข้อกำหนดที่กล่าวมาโปรโตคอลชนิดนี้จะทำงานได้ดีทั้งแบบ Half หรือ Full duplex ในการติดต่อสื่อสารทางคลื่นวิทยุแบบ 2 ทิศทาง

โพรโทคอลชนิดนี้ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ดีในการเชื่อมต่อกันเองระหว่างสถานีวิทยุกลุ่มข้อมูลสมัครเล่น (Amateur Packet-Radio Stations) 2 สถานีหรือกับตัวควบคุมแบบหลายพอร์ต (Multiport Controller)

โพรโทคอลชนิดนี้อนุญาตให้สถานีวิทยุกลุ่มข้อมูลใดๆสามารถที่จะมีการเชื่อมต่อข้อมูลมากกว่าหนึ่งสถานี ถ้าอุปกรณ์นั้นมีความสามารถเพียงพอ

โพรโทคอลชนิดนี้ไม่มีข้อห้ามสำหรับการเชื่อมต่อแบบเชื่อมต่อตัวเอง(Self-Connections) การเชื่อมต่อแบบการเชื่อมต่อตัวเองนี้จะเชื่อมต่อเมื่อ ฟิลด์ที่อยู่เป็นแบบเดียวกันทั้งที่อยู่ต้นทางและที่อยู่ปลายทาง

โพรโทคอลส่วนมากในชั้นเชื่อมต่อข้อมูลจะมีการสมมติว่าในระบบจะมีสถานีหลักหรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสถานีแม่ข่าย (Primary หรือ Master) นิยมเรียกกันว่า DCE (Data Circuit-terminating Equipment) ซึ่งจะเชื่อมต่อกับสถานีลูกข่าย(Secondary or Slave)อาจจะหนึ่งหรือหลายสถานีซึ่งนิยมเรียกกันว่า DTE การทำงานตามหลักการข้างต้นเรียกกันว่า หลักการแบบไม่สมดุล (Unbalanced)ซึ่งในวิทยุสมัครเล่นไม่นิยมจัดเครือข่ายแบบนี้ ใน AX.25 จะจัดให้ทั้ง 2 สถานีปลายทางระดับเดียวกัน ด้วยวิธีดังกล่าวนี้จะไม่มีความแตกต่างของอุปกรณ์ปลายทางทั้ง 2 แห่งและจะเรียกอุปกรณ์ปลายทางเป็นแบบเดียวกันว่า DXE เพื่อที่ใช้ในโปรโตคอลแบบนี้และจะอธิบายด้วยหลักการแบบสมดุล(Balanced) ซึ่งเราจะพบได้ในวิทยุกลุ่มข้อมูลสมัครเล่น(Amateur Packet Radio)

3.โครงสร้างเฟรม

การส่งกลุ่มข้อมูลในชั้นเชื่อมต่อข้อมูล จะถูกส่งเป็นชุดของข้อมูลเล็กๆซึ่งเราจะเรียกว่า “เฟรม” แต่ละเฟรมจะประกอบไปด้วยกลุ่มข้อมูลเล็กๆหลายๆกลุ่ม ซึ่งเราเรียกว่า ฟิลด์(Fields)

จากรูปที่ 2.17 แสดงเฟรมพื้นฐาน 3 ชนิดและจากรูปบิตแรกของการส่งอยู่ทางด้านซ้ายสุดของเฟรม

บิตแรกที่ส่ง

Flag	Address	Control	FCS	Flag
01111110	112/560 bits	8 bits	16 bits	01111110

รูปที่ 2.17ก แสดงโครงสร้างของ U และ S เฟรม

Flag	Address	Control	PID	Info.	FCS	Flag
01111110	112/560 bits	8 bits	8 bits	N*8 bits	16 bits	01111110

รูปที่ 2.17ข แสดงโครงสร้างของเฟรมข่าวสาร(Information frame)

แต่ละฟิลด์จะประกอบด้วยข้อมูลหลายๆไบต์ซึ่งจะอธิบายแต่ละฟิลด์ต่อไป

3.1 ฟิลด์แฟล็ก (Flag Field)

มีความยาว 1 ไบต์มีไว้สำหรับบอกขอบฟิลด์ของเฟรมซึ่งจะปรากฏที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเฟรม เฟรม 2 เฟรมอาจจะมีแฟล็กร่วมกันได้คือแฟล็กที่ปิดท้ายเฟรมแรกและเป็นแฟล็กเริ่มต้นของเฟรมถัดไปซึ่งแฟล็กจะประกอบด้วย 01111110 (7E hex)

3.2 ฟิลด์ที่อยู่ (Address Field)

ฟิลด์ที่อยู่นี้จะบอกทั้งที่อยู่ของผู้ส่ง (Source Address)และที่อยู่ของผู้รับ (Destination Address) การเข้ารหัสของฟิลด์ที่อยู่จะอธิบายในหัวข้อ 3.13

3.3 ฟิลด์ควบคุม (Control Field)

ฟิลด์ควบคุมใช้ในการบอกว่าเป็นเฟรมชนิดไหนรวมทั้งเป็นฟิลด์ที่ควบคุมคุณสมบัติการเชื่อมต่อในชั้นเชื่อมต่อข้อมูลซึ่งจะมีความยาว 1 ไบท์ซึ่งจะอธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อ 4.2 ต่อไป

3.4 ฟิลด์พีไอดี (PID Field)

ฟิลด์พีไอดี(,Protocol Identifier Field)จะปรากฏในเฟรมข่าวสารคือเฟรม I และเฟรม UI เท่านั้นเป็นส่วนที่จะบอกว่าชนิดของโพรโทคอลในชั้นที่ 3 เป็นชนิดใด

MSB	LSB	
yy01yyyy		มีการสร้างโพรโทคอล AX.25 ในชั้นที่ 3
yy10yyyy		มีการสร้างโพรโทคอล AX.25 ในชั้นที่ 3
11001100		มีการสร้างโพรโทคอลแบบดาตาแกรมอินเตอร์เนตในชั้นที่ 3
11001101		มีการสร้างโพรโทคอลแบบแอดเดรส รีโซลูชัน (Address Resolution)ในชั้นที่ 3
11110000		ไม่มีโพรโทคอลในชั้นที่ 3
11111111		อักขระ Escape เป็นการบอกว่าไบต์ต่อไปมีข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับโพรโทคอลในชั้นที่ 3

y: จะแสดงการเรียงสับเปลี่ยนของ 1 กับ 0 ทุกแบบที่เป็นไปได้

ทุกๆ รูปแบบของ yy11yyyy และ yy00yyyy นอกเหนือจากข้างต้นจะถูกสงวนไว้สำหรับอนาคตที่จะสร้างโพรโทคอลชั้นที่ 3 ข้อตกลงสำหรับรูปแบบ พีไอดีฟิลด์นี้เป็นที่เข้าใจกันใน

วงการวิทยุสมัครเล่น ผู้ที่จะสร้างโพรโทคอลในชั้นที่3เหล่านี้จะต้องติดต่อกับ ARRL Ad Hoc Committee เพื่อที่จะแนะนำการจัดรูปแบบข้อมูลสำหรับการสื่อสารในระบบดิจิตอล

3.5 ฟิลด์ข่าวสาร (Information Field)

ฟิลด์ข่าวสารใช้ในการส่งข้อมูลจากสถานีปลายทางด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ฟิลด์ข่าวสารนี้แบ่งออกเป็น 3 แบบตามชนิดของเฟรมข่าวสารคือ เฟรม I,เฟรม UI,และเฟรม FRMR ความยาวของฟิลด์ข่าวสารนี้สามารถเพิ่มได้สูงสุดถึง 256 ไบต์โดยยังไม่รวมการแทรกบิต "0" ข่าวสารจะถูกส่งให้อีกสถานีปลายทางยกเว้นบิต "0" ที่แทรกไว้ป้องกันการสับสนกับฟิลด์แฟล็กที่ปรากฏขึ้นในฟิลด์ข่าวสาร

3.6 การแทรกบิต (Bit Stuffing)

เพื่อที่จะประกันการผิดพลาดจากการที่มีบางส่วนในเฟรมไปซ้ำกับฟิลด์แฟล็ก สถานีส่งข้อมูลจะคอยตรวจสอบว่าข้อมูลข่าวสารที่จะส่งไปยังสถานีปลายทางอีกด้านหนึ่งนั้นมีบิต "1" เกิน 5 บิตหรือไม่คือทุกๆ 5 บิตของบิต 1 ที่ติดกันจะถูกแทรกด้วยบิต "0" และในระหว่างการรับเฟรมนั้น เมื่อรับบิต "1"ได้ 5 บิตติดต่อกัน บิต "0"ที่ตามหลังบิต "1"ตัวที่ 5 จะถูกตัดออกไป

3.7 ตัวตรวจสอบเฟรม(Frame Check Sequence:FCS)

ตัวตรวจสอบเฟรมมีความยาวทั้งสิ้น 16 บิต การคำนวณจะคำนวณทั้งสถานีส่งข้อมูลและสถานีรับข้อมูล ความสำคัญของตัวตรวจสอบเฟรมคือเป็นการประกันว่าข้อมูลจะไม่ผิดพลาดจากการส่งผ่านตัวกลาง โดยการคำนวณจะคำนวณตาม ISO 3309 (HDLC)

3.8 ลำดับการส่งของบิต (Order of Bit Transmission)

ลำดับการส่งของแต่ละบิตในแต่ละฟิลด์นั้นจะส่ง LSB ก่อนมีข้อยกเว้นเฉพาะฟิลด์ FCS จะส่ง MSB ก่อนเป็นบิตแรก

3.9 เฟรมที่ไม่สมบูรณ์ (Invalid Frame)

เฟรมข้อมูลที่มีลักษณะดังต่อไปนี้จะถือว่าเป็นเฟรมที่ไม่สมบูรณ์คือเฟรมที่ประกอบด้วยข้อมูลน้อยกว่า 136 บิต (รวมทั้งแฟล็กเริ่มต้นและแฟล็กปิดท้าย,เฟรมที่ไม่มีฟิลด์แฟล็กปิดหัวและปิดท้ายและเฟรมที่มีจำนวนบิตที่ไม่เท่ากับจำนวนเท่าของ 8 บิต

3.10 เฟรมยกเลิก (Frame Abort)

เฟรมจะถูกยกเลิกทันทีถ้าข้อมูลข่าวสารเป็นบิต "1"อย่างน้อย 15 บิตโดยไม่มีการแทรกบิต

3.11 เวลาระหว่างเฟรม (Interframe Time Fill)

DXEจะคงสภาพการทำงานของตัวส่งข้อมูลในช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งเฟรมข้อมูลซึ่งอยู่ระหว่าง 2 เฟรมข้อมูลที่อยู่ติดกัน โดยในช่วงเวลานั้น DXE จะส่งแฟล็กฟีลด์ต่อเนื่องกันออกไป

3.12 สถานะช่องสัญญาณการเชื่อมต่อ(Link Channel Status)

ยังไม่ระบุ

3.13 การเข้ารหัสของฟีลด์ที่อยู่(Adddress-Field Encoding)

ฟีลด์ที่อยู่ของทุกๆเฟรมจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือส่วนแรกคือฟีลด์ที่อยู่ของผู้ติดต่อที่ต้นทางและส่วนที่สองคือฟีลด์ที่อยู่ของผู้ได้รับการติดต่อที่ปลายทาง ในฟีลด์ที่อยู่ทั้งสองส่วนจะประกอบขึ้นด้วยรหัส ASCII ตัวพิมพ์ใหญ่ (upper-case)และSSID (Secondary Station Identifier) ถ้ามีการใช้ "สถานีทวนสัญญาณ" จะมีสัญญาณเรียกขาน(call sign) รวมอยู่ในฟีลด์ที่อยู่ด้วย

ฟีลด์ที่อยู่ของ HDLC จะขยายได้เกิน 1 ไบต์โดยการกำหนดค่า LSB ของแต่ละไบต์ ที่จะขยายเป็นบิตขยาย (extension bit) บิตขยายของแต่ละไบต์ที่กำหนดค่าให้เป็น "0"จะเป็นการบอกว่าไบท์ถัดไป ยังเป็นส่วนของฟีลด์ที่อยู่หรือถ้าเป็น "1" จะเป็นการบอกว่าเป็นไบต์สุดท้ายของฟีลด์ที่อยู่ของเฟรม HDLC จากหลักการดังกล่าวสัญญาณเรียกขานของวิทยุสมัครเล่น จะต้องเลื่อนไปทางซ้าย 1 บิต

3.13.1 การเข้ารหัสฟีลด์ที่อยู่แบบไม่มีสถานีทวนสัญญาณ

ถ้าไม่มีการใช้สถานีทวนสัญญาณ จะเข้ารหัสฟีลด์ที่อยู่ได้ดังรูปที่ 2.18

first octet sent

Address Field of Frame												
Destination Address							Source Address					
A1	A2	A3	A4	A5	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14

รูปที่ 2.18 การเข้ารหัสฟีลด์ที่อยู่แบบไม่มีสถานีทวนสัญญาณ

A1 ถึง A14 เป็น 14 ไบต์ซึ่งประกอบด้วย 2 ฟิลด์ย่อยของฟิลด์ที่อยู่ ฟิลด์ที่อยู่ปลายทางมีความยาว 7 ไบต์และส่งออกไปเป็นส่วนแรก ซึ่งเป็นลำดับของการส่งเพื่อให้เวลาสำหรับสถานีรับข้อมูลในการตรวจสอบฟิลด์ที่อยู่ย่อยปลายทาง ฟิลด์ที่อยู่ต้นทางจะถูกส่งหลังจากส่งที่อยู่ปลายทางไปเสร็จแล้วโดยส่งไปตั้งแต่ไบต์ A8 ถึงไบต์ A14 การเข้ารหัสทั้งฟิลด์ที่อยู่ต้นทางและฟิลด์ที่อยู่ปลายทางใช้หลักการเดียวกันและบิตสุดท้ายเป็นบิตขยายเช่นเดียวกัน

ในแต่ละฟิลด์ที่อยู่ย่อยจะปิดท้ายด้วย SSID (Secondary Station Identifier)ซึ่งในส่วนฟิลด์ SSID นั้นจะสามารถทำให้ ผู้ใช้ที่มีสัญญาณเรียกขานเดียวกันแต่มีมากกว่า 1 สถานี สามารถที่จะรับข่าวสารที่ส่งมาได้เช่นเดียวกัน ประโยชน์ในส่วนนี้จะใช้เมื่อต้องการเพิ่มสถานีทวนสัญญาณเข้ามาในระบบ บิต C และบิต H (ดูจากหัวข้อ 5)จะถูกนำมาใช้และบิต R 2 บิตต่อมาจะสงวนไว้ใช้ในอนาคต จากรูปที่ 2.19 แสดงเฟรม AX.25 ทั่วๆไปที่ใช้ในกรณีไม่มีสถานีทวนสัญญาณ

Octet	ASCII	Bin. Data	Hex Data
Flag		01111110	7E
A1	K	10010110	96
A2	8	01110000	70
A3	M	10011010	9A
A4	M	10011010	9A
A5	0	10011110	9E
A6	space	01000000	40
A7	SSID	11100000	E0
A8	W	10101110	AE

รูปที่ 2.19 เฟรม AX.25 แบบไม่มีสถานีทวนสัญญาณ

Octet	ASCII	Bin. Data	Hex Data
A9	B	10000100	84
A10	4	01101000	68
A11	J	10010100	94
A12	F	10001100	8C
A13	I	10010010	92
A14	SSID	01100001	61
Control	I	00111110	3E
PID	none	11110000	F0
FCS	part 1	xxxxxxxxx	HH
FCS	part 2	xxxxxxxxx	HH
Flag		01111110	7E

Bit Position 76543210

รูปที่ 2.19 เฟรม AX.25 แบบไม่มีสถานีทวนสัญญาณ

เฟรมที่แสดงเป็นเฟรม I ที่ไม่มีการส่งข้อมูลผ่านสถานีทวนสัญญาณโดยส่งจาก WB4JFI (SSID=0) ไปยัง K8MM0 โดยไม่ใช้โปรโตคอลในชั้นที่ 3 บิต P/F ถูกเซต;โดยมีหมายเลขลำดับของการรับ(Receive Sequence Number) N(R) เป็น "1"; หมายเลขลำดับของการส่ง(Send Sequence Number) N(S) เป็น 7

3.13.1.1 การเข้ารหัสฟิลด์ย่อยปลายทาง

รูปที่ 2.20 สัญญาณเรียกขานที่ถูกป้อนเข้าไปที่ฟิลด์ย่อยที่อยู่ปลายทาง โดยบรรจุจาก A1 ถึง A7

Octet	ASCII	Bin. Data	Hex Data
A1	W	10101110	AE
A2	B	10000100	84
A3	4	01101000	68
A4	J	10010100	94
A5	F	10001100	8C
A6	I	10010010	92
A7	SSID	CRRSSID0	-
ตำแหน่งบิต		76543210	

รูปที่ 2.20 การเข้ารหัสฟีลด์ปลายทาง

อธิบายได้ดังนี้

ก.ไบต์บนสุด(A1)เป็นไบต์แรกที่จะส่งออกไปโดยจะส่งจากบิตที่0ก่อนและส่งบิตที่ 7 เป็นบิตสุดท้าย

ข.บิตที่0ของแต่ละไบต์เป็นบิตขยายของHDLCเมื่อเป็น"0"แต่ถ้าเป็นไบต์สุดท้ายที่ไม่มีการขยาย บิตนี้จะเป็น "1"

ค.บิต "R" เป็นบิตที่เราสงวนไว้ บางทีเราอาจนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ที่เราต้องการในเครือข่ายที่แยกอิสระออกมาต่างหาก เมื่อไม่ใช้จะเซตบิตนี้ให้เป็น "1"

ง.บิต "C" ใช้เสมือนบิตคำสั่ง/ตอบสนองของ AX.25 เฟรม

จ.ตัวอักษรของสัญญาณเรียกขานเป็นมาตรฐาน 7 บิตรหัส ASCII (ตัวพิมพ์ใหญ่เท่านั้น) ซึ่ง7บิตจะเรียงจากค่า MSB โดยเหลือบิตสุดท้ายเป็นบิตขยาย ถ้าสัญญาณเรียกขานมีความยาวน้อยกว่6 อักษรส่วนที่เหลือจะป้อนเป็นรหัสช่องว่าง(space)ของ ASCII ระหว่างตัวอักษรสัญญาณเรียกขานตัวสุดท้ายและ SSID

ฉ.ค่า SSID ที่ 0000 ถูกสงวนไว้สำหรับสถานีแบบ AX.25 สถานีแรก ซึ่งเป็นมาตรฐานของการเชื่อมต่อโดยปกติสำหรับสถานีแรก

3.13.2 การเข้ารหัสฟีลด์ที่อยู่ของเครื่องทวนสัญญาณ(Level 2 Repeater-Address Encoding)

ถ้ามีการส่งเฟรมข้อมูลผ่านสถานีทวนสัญญาณเราจะต้องเพิ่มฟีลด์ที่อยู่ย่อยของสถานีทวนสัญญาณเพิ่มเข้าไปต่อท้ายของฟีลด์ที่อยู่โดยที่อนุญาตให้ใช้สถานี-

ทวนสัญญาณได้มากกว่าหนึ่งสถานีในการแบ่งกันใช้ช่องสัญญาณ ถ้ามีฟิลด์ย่อยของส่วนนี้เพิ่มเติมเข้ามา ไบท์สุดท้ายของฟิลด์ที่อยู่ย่อยต้นทางจะต้องมีบิตขยายเป็น "0" เพื่อที่จะบอกว่ามีข้อมูลของฟิลด์ที่อยู่ที่ยังมีเพิ่มเติมอีก โดยวิธีการเข้ารหัสของส่วนนี้ใช้หลักการเช่นเดียวกับฟิลด์ที่อยู่ย่อยต้นทางและปลายทาง ยกเว้น MSB ของไบต์สุดท้ายซึ่งเราเรียกว่าบิต "H" โดยบิต "H" นี้จะเป็นบิตที่แสดงว่าเฟรมนั้นๆที่ส่งเป็นเฟรมที่ถูกทวนสัญญาณหรือไม่อย่างไร

เพื่อที่บอกว่าเฟรมนั้นเป็นเฟรมทวนสัญญาณ บิต "H" นี้จะถูกตั้งค่าให้เป็น "0" บนเฟรมที่ส่งไปให้สถานีทวนสัญญาณ จากนั้นสถานีทวนสัญญาณจะเปลี่ยนบิต "H" นี้เป็น "1" เมื่อเฟรมถูกส่งจากเครื่องทวนสัญญาณออกไป สถานีแต่ละสถานีจะดูบิต "H" และจะตัดเฟรมส่วนที่จะส่งให้สถานีทวนสัญญาณทิ้ง รูปที่ 2.21 แสดงการเข้ารหัสของฟิลด์ที่อยู่ย่อยของสถานีทวนสัญญาณ รูปที่4Aเป็นตัวอย่างแสดงเฟรมที่ถูกส่งออกมาจากสถานีทวน-สัญญาณ

Octet	ASCII	Bin. Data	Hex Data
A15	W	10101110	AE
A16	B	10000100	84
A17	4	01101000	68
A18	J	10010100	94
A19	F	10001100	8C
A20	I	10010010	92
A21	SSID	HRRSSID1	

76543210

รูปที่ 2.21 การเข้ารหัสฟิลด์ที่อยู่ของสถานีทวนสัญญาณ

โดยอธิบายการส่งเพิ่มเติมดังนี้

ก. ไบต์บนสุดเป็นไบต์แรกในการส่งและบิต 0 เป็นบิตที่ส่งไปก่อนและบิต 7 เป็นบิตสุดท้ายในการส่งของแต่ละไบต์

ข. บิต0ของแต่ละไบต์เรากำหนดให้เป็น"0"ซึ่งเป็นบิตแสดงส่วนขยายของHDLCและในไบต์สุดท้ายบิต0 เรากำหนดค่าให้เป็นหนึ่ง(เช่นเดียวกับการเข้ารหัสของฟิลด์ที่อยู่ย่อยต้นทางและปลายทาง)

ค. บิต "R" เป็นบิตที่สงวนไว้เช่นเดียวกับฟิลด์ที่อยู่ย่อยต้นทางและปลายทาง

ง. บิต"H"เป็นบิตที่แสดงว่าส่งออกมาจากสถานีทวนสัญญาณหรือไม่และถูกกำหนดค่าให้เป็น "0" เมื่อเฟรมนั้นไม่ได้ถูกส่งออกมาจากสถานีทวนสัญญาณและกำหนดค่าให้เป็น "1" เมื่อเป็น

เฟรมที่ส่งออกมาจากสถานีทวนสัญญาณ

Octet	ASCII	Bin. Data	Hex Data
Flag		01111110	7E
A1	K	10010110	96
A2	8	01110000	70
A3	M	10011010	9A
A4	M	10011010	9A
A5	0	10011110	9E
A6	Space	01000000	40
A7	SSID	11100000	E0
A8	W	10101110	AE
A9	B	10000100	84
A10	4	01101000	68
A11	J	10010100	94
A12	F	10001100	8C
A13	I	10010010	92
A14	SSID	01100000	60
A15	W	10101110	AE
A16	B	10000100	84
A17	4	01101000	68
A18	J	10010100	94
A19	F	10001100	8C
A20	I	10010010	92
A21	SSID	11100011	E3
Control	I	00111100	3C
PID	none	11110000	F0
FCS	part 1	xxxxxxxx	HH
FCS	part 2	xxxxxxxx	HH
Flag			7E
bit position		76543210	

รูปที่ 2.22 เฟรม AX.25 ในโมดของสถานีทวนสัญญาณ

เฟรมข้างบนนี้เป็นเฟรมเกี่ยวกับเฟรมในรูปที่ 3.19 โดยเพิ่มฟิลด์ที่อยู่ย่อยของสถานีทวน-สัญญาณ(WB4JFI,SSID=1) บิต H ถูกกำหนดค่าให้เป็น 1 แสดงถึงว่าเฟรมนี้ถูกส่งออกมาจากสถานีทวนสัญญาณนั่นเอง

3.13.3 การทำงานแบบมีสถานีทวนสัญญาณหลายสถานี

โพรโทคอลชั้นเชื่อมต่อข้อมูล AX.25 นั้น สามารถที่จะใช้สถานีทวนสัญญาณได้มากกว่า 1 สถานี โดยการสร้างเฟรมยังคงยึดหลักการเดิม โดยเราสามารถที่จะเพิ่มสถานีทวนสัญญาณได้ถึง 8 สถานี ด้วยวิธีการขยายฟิลด์ที่อยู่ย่อยของสถานีทวนสัญญาณ คือเมื่อมีสถานีทวนสัญญาณมากกว่า 1 สถานี ฟิลด์ที่อยู่ของสถานีทวนสัญญาณจะต่อท้ายฟิลด์ที่อยู่ของต้นทาง โดยจะเป็นฟิลด์ที่อยู่ย่อยของสถานีทวนสัญญาณสถานีแรก และต่อๆกันไปเป็นเครือข่าย เมื่อเฟรมถูกส่งเข้าไปในเครือข่ายของสถานีทวนสัญญาณหลายชุด สถานีทวนสัญญาณจะกำหนดค่าบิต H ให้เป็น "1" ต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ ซึ่งเป็นการชี้ว่าเฟรมที่มานั้นเป็นเฟรมที่ส่งออกมาจากสถานีทวนสัญญาณ ส่วนอื่นๆของเฟรมไม่มีการเปลี่ยนแปลง (ยกเว้นค่า FCSที่คำนวณใหม่) สถานีปลายทางสามารถที่จะตรวจสอบเส้นทางการส่งมาของเฟรมได้โดยตรวจสอบฟิลด์ที่อยู่ของเฟรม

จำนวนของสถานีทวนสัญญาณเป็นค่าที่แปรเปลี่ยนได้ โดยฟิลด์ที่อยู่ของสถานีทวนสัญญาณที่ไม่ใช่สถานีสุดท้ายจะมีบิตขยายของแต่ละไบต์เป็น "0" ยกเว้นไบต์สุดท้ายจะถูกกำหนดค่าให้เป็นหนึ่ง เป็นการชี้ว่าหมดฟิลด์ที่อยู่แล้ว

สิ่งที่ควรคำนึงถึงคือเรื่องการตั้งค่าเวลาของตัวตั้งเวลาต่างๆในระบบโดยต้องรวมค่าหน่วงเวลา เมื่อเฟรมถูกส่งผ่านกลุ่มของสถานีทวนสัญญาณแล้วส่งสัญญาณ "รับรู้" (Acknowledgement) กลับไปยังต้นทางโดยผ่านกลุ่มของสถานีทวนสัญญาณตามเส้นทางเดิม

การทำงานแบบมีหลายสถานีทวนสัญญาณบนสำหรับการส่งข้อมูลระยะไกลนี้ เป็นที่คาดกันว่าใช้ในลักษณะนี้ไปชั่วคราวก่อนจนกว่าโพรโทคอลในระดับที่ 3 จะถูกนำมาใช้และเมื่อโพรโทคอลในระดับที่ 3 ถูกนำมาใช้ ถึงเวลานั้นวิธีการทำงานที่กล่าวมาในเรื่องของสถานีทวนสัญญาณหลายสถานีจะถูกยกเลิก

4. Elememt ของกระบวนการทำงาน

4.1 กระบวนการทำงานต่างๆ จะถูกกำหนดในรูปแบบของการกระทำที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับเฟรมชนิดต่างๆ

4.2 รูปแบบของฟิลด์ควบคุมและตัวแปรสถานะ(state variable)

I16753574

4.2.1 รูปแบบของฟิลด์ควบคุม

ฟิลด์ควบคุมจะเป็นส่วนที่แสดงให้เห็นถึงชนิดของเฟรมที่จะส่งและจะส่งคำสั่ง,การตอบสนอง จากจุดหนึ่งในเครือข่ายไปยังจุดอีกจุดหนึ่งในเครือข่าย เพื่อที่จะควบคุมการเชื่อมโยงของ 2 จุดในเครือข่ายสื่อสารนั้นๆ

ฟิลด์ควบคุมใน AX.25 ใช้หลักการแบบเดียวกับฟิลด์ควบคุมของ CCITT X.25 ในส่วนการทำงานแบบสมดุล(balanced operation ย่อว่า LAPB) โดยยังเพิ่มเติมในส่วนฟิลด์ควบคุมที่นำมาจาก ADCCP เพื่อใช้ในการทำงานแบบ Connectionless และ Round-table

เฟรม AX.25 แบ่งเป็น 3 ชนิด

1.) เฟรมข่าวสาร (Information frame;ย่อว่าเฟรม I)

2.) เฟรมตรวจตรา (Supervisory frame;ย่อว่าเฟรม S)

3.) เฟรมไม่มีหมายเลขลำดับ (Unnumbered frame;ย่อว่าเฟรม U)

รูปที่ 2.23 แสดงรูปแบบของฟิลด์ควบคุมและชนิดของฟิลด์ควบคุมตามรูปแบบของเฟรม

Control-Field	Control-Field Bits								
Type	7	6	5	4	3	2	1	0
I Frame	N(R)			P	N(S)			0
S Frame	N(R)			P/F	S	S	0	1
U Frame	M	M	M	P/F	S	S	1	1

รูปที่ 2.23 รูปแบบของฟิลด์ควบคุม

อธิบายจากรูปที่ 2.23

ก. บิต 0 เป็นบิตแรกในการส่ง บิต 7 เป็นบิตสุดท้ายในการส่งของฟิลด์ควบคุม

ข. N(S) คือ หมายเลขลำดับของการส่ง(บิต 1 เป็น LSB)

ค. N(R) คือ หมายเลขลำดับของการรับ(บิต 5 เป็น LSB)

ง. บิต "S" เป็นบิตที่ทำหน้าที่ตรวจตรา การเข้ารหัสบิต "S"จะอธิบายในหัวข้อ 4.4.2

จ. บิต "M" เป็นบิตในเฟรม Uทำหน้าที่เป็นบิตแก้ไข (Modifier Bit) การเข้ารหัสจะอธิบายในหัวข้อ 4.4.3

ฉ. P/F บิต เป็นโพลบิต (Poll) หรือบิตสุดท้าย (Final) หน้าที่ของบิตนี้จะอธิบายละเอียดในหัวข้อ 4.3 ซึ่งเป็นบิตที่แสดงความแตกต่างระหว่างคำสั่งและการตอบสนอง ดังนั้นความแตกต่างระหว่างบิต P และบิต F ถูกสร้างโดยกฎของการหาที่อยู่ (addressing rules) อธิบายในหัวข้อ 5.1.2

4.2.1.1 รูปแบบการถ่ายโอนข่าวสาร

ทุกๆเฟรมข่าวสารบิต 0 จะถูกกำหนดค่าให้เป็น "0" N(S) คือหมายเลขลำดับของการส่งของผู้ส่ง(หมายเลขลำดับของการส่งของเฟรมที่กำลังจะส่ง)และN(R) คือหมายเลขสำหรับรับของผู้ส่ง(หมายเลขสำหรับรับของเฟรมที่คาดว่าจะได้รับในเฟรมต่อไป) หมายเลขเหล่านี้จะอธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อ 4.2.4 บิต P/F จะอธิบายในหัวข้อ 5.2

4.2.1.2 รูปแบบของการตรวจตรา

เฟรมตรวจตราจะให้บิต 0 ของฟิลด์ควบคุมเป็น 1 และบิต 1 ของฟิลด์ควบคุมเป็น 0 เฟรมตรวจตราเป็นเฟรมสำหรับควบคุมการเชื่อมโยงของระบบสื่อสารเช่น การตอบรับ (Acknowledgement) การแสดงความจำนงในการส่งเฟรม I ใหม่และเนื่องจากไม่มีส่วนของข่าวสาร ดังนั้นตัวแปรหมายเลขลำดับการส่งและการรับจะไม่มีการเพิ่ม ณ ที่สถานีรับ-ส่ง ส่วนบิต P/F จะอธิบายในหัวข้อ 5.2

4.2.1.3 รูปแบบไม่มีหมายเลขลำดับ

เฟรมไม่มีหมายเลขลำดับจะมีบิต 0 และบิต 1 ของฟิลด์ควบคุมมีค่าเป็น 1 เป็นเฟรมที่ช่วยในการควบคุมการเชื่อมโยงในระบบสื่อสารโดยทำงานในส่วนที่เฟรมตรวจตราไม่ได้ทำ โดยมันจะทำหน้าที่ในการสร้างหรือยกเลิกการเชื่อมต่อข้อมูล เฟรมไม่มีหมายเลขลำดับบางครั้งส่งข่าวสารพร้อมทั้งฟิลด์ PID ด้วย บิต P/F จะอธิบายในหัวข้อ 5.2

4.2.2 พารามิเตอร์ฟิลด์ควบคุม

4.2.3 หมายเลขลำดับ (Sequence Numbers)

ทุกๆเฟรมข่าวสารของ AX.25 ถูกกำหนดเป็นโมดูโล 8 (modulo 8) มีหมายเลขลำดับจาก 0 ถึง 7 คือจะสามารถส่งเฟรม I ได้ ถ้าจำนวนสัญญาณที่ยังไม่ตอบรับมีค่าน้อยกว่า 8

4.2.4 ตัวแปรเฟรม(Frame Variables) และหมายเลขลำดับ (Sequence Numbers)

4.2.4.1 ตัวแปรสถานะการส่ง (Send State Variable ย่อว่า V(S)

ตัวแปรสถานะการส่งเป็นตัวแปรที่อยู่ใน DXE และจะไม่ส่งตัวแปรชุดนี้ออกไป ตัวแปรนี้จะเก็บค่าหมายเลขลำดับที่จะส่งเฟรมข่าวสารเฟรมถัดไป โดยตัวแปรชนิดนี้จะเปลี่ยนค่าไปทุกๆครั้งที่มีการส่งเฟรมข่าวสาร

4.2.4.2 หมายเลขลำดับของการส่ง (Send Sequency Number N(S))

หมายเลขลำดับของการส่งจะพบในส่วนควบคุมของทุกๆเฟรมข่าวสาร มันจะเก็บค่าหมายเลขลำดับของเฟรมข่าวสารที่กำลังจะส่ง ก่อนการส่งเฟรมข่าวสารค่า N(S) จะเปลี่ยนไปเท่ากับค่า V(S)

4.2.4.3 ตัวแปรสถานะการรับ (Receive State Variable ย่อว่า V(R))

ตัวแปรสถานะการรับเป็นตัวแปรภายใน DXE ตัวแปรนี้จะเก็บค่าหมายเลขลำดับของเฟรมที่จะรับเฟรมต่อไปค่าตัวแปรสถานะการรับจะเปลี่ยนค่าเมื่อมีการรับเฟรมข่าวสารที่ไม่มีความผิดพลาด ซึ่งค่าหมายเลขลำดับการส่งของมันจะเท่ากับค่าตัวแปรสถานะการรับปัจจุบัน

4.2.4.4 หมายเลขลำดับของการรับ (Receice Sequence Number N(R))

หมายเลขลำดับของการรับ จะอยู่ในทั้งเฟรม I และเฟรม S โดยก่อนที่จะส่งเฟรม I และเฟรม S จะตั้งค่า N(R) ในเฟรมให้เท่ากับ V(R) ซึ่งเป็นการตอบรับความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับทุกเฟรมจนถึงเฟรมที่ N(R)-1

4.3 หน้าที่การทำงานของบิตโพล (Poll) / บิตสุดท้าย (Final)

บิต P/F นี้จะใช้ในเฟรมทุกชนิด การใช้ในลักษณะเป็นคำสั่ง(Poll) เพื่อขอการตอบกลับแบบทันที การตอบกลับนี้โดยการกำหนดบิตการตอบสนอง(Final)

4.4 การเข้ารหัสฟิลด์ควบคุมสำหรับคำสั่งและการตอบรับ

การเข้ารหัสในฟิลด์ควบคุมมีดังต่อไปนี้

4.4.1 ฟิลด์ควบคุมของคำสั่งเฟรมข่าวสาร

หน้าที่ของคำสั่งในเฟรมข่าวสาร เพื่อที่จะส่งผ่านข้อมูลเป็นหมายเลขลำดับพร้อมทั้งส่งข่าวสาร

การเข้ารหัสฟิลด์ควบคุมในเฟรมข่าวสาร แสดงในรูปที่ 6 เฟรมเหล่านี้จะมีหมายเลขลำดับโดย N(S) เพื่อที่จะส่งผ่านรหัสควบคุมเหล่านี้ผ่านบนชั้นเชื่อมต่อข้อมูลของการสื่อสารข้อมูล

Control Field Bits

7 6 5	4	3 2 1	0
N(R)	P	N(S)	0

รูปที่ 2.24 ฟิลด์ควบคุมของเฟรมข่าวสาร

4.4.2 ฟิลด์ควบคุมของเฟรมตรวจตรา

การเข้ารหัสฟิลด์ควบคุมของเฟรมตรวจตราแสดงดังรูปที่ 2.25

Control Field Bits	7 6 5	4	3 2	1 0
Receive Ready RR	N(R)	P/F	0 0	0 1
Receive Not Ready RNR	N(R)	P/F	0 1	0 1
Reject REJ	N(R)	P/F	1 0	0 1

รูปที่ 2.25 ฟิลด์ควบคุมของเฟรมตรวจตรา

4.4.2.1 คำสั่งและคำตอบแบบ "รับเรียบร้อย" (Receive Ready;RR) แสดงเพื่อวัตถุประสงค์ดังนี้

ก. เพื่อชี้ให้เห็นว่าผู้ส่ง RR พร้อมที่จะรับเฟรมข่าวสารได้ในเวลานี้

ข .เพื่อตอบรับการรับเฟรมข่าวสารโดยบอกให้คู่สื่อสารรู้ว่ารับเฟรมข่าวสารจนถึง N(R)-1 โดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น

ค. เพื่อยกเลิกสภาวะไม่ว่าง (Busy Condition) โดยก่อนนี้ได้ส่ง RNR ไป

สามารถที่จะเรียกดูสถานะของ DXE ของคู่สื่อสาร โดยการส่ง RR พร้อมบิต P ที่เป็น "1" ไปด้วย

4.4.2.2 คำสั่งและคำตอบแบบ "รับยังไม่เรียบร้อย" (Receive Not Ready RNR)

"รับยังไม่เรียบร้อย" RNR เป็นตัวแจ้งให้คู่สถานีทราบว่าสถานีที่ส่งเฟรม RNR ออกไปไม่สามารถรับเฟรมข่าวสารได้เป็นการชั่วคราว ซึ่งสถานีที่ส่งเฟรม RNR อยู่ในสถานะไม่ว่าง (Busy Condition) นั่นคือ จะมีคำตอบรับในเฟรมจนถึง N(R)-1 ส่วนเฟรม N(R)และสูงขึ้นไปอีกจะไม่มีคำตอบรับ (Acknowledge)

สถานะของ RNR จะถูกยกเลิกไปเมื่อมีการส่งสัญญาณ UA,RR,REJ หรือ SABM ออกไป

สามารถที่จะเรียกดูสถานะของ DXE ที่เป็นคู่สื่อสาร โดยส่งเฟรมคำสั่ง RNR ไปด้วยบิต P เท่ากับ "1"

4.4.2.3 เฟรมคำสั่งและคำตอบแบบ "ยกเลิก" (Reject: REJ)

เฟรมแบบ REJ ใช้เรียกข้อมูลให้คู่สื่อสารส่งข่าวสารในเฟรมข่าวสารก่อนหน้านี้มาให้ใหม่ (โดยเริ่มจาก N(R) , ทุกๆ เฟรมที่ถูกส่งมาแล้วตั้งแต่ลำดับหมายเลข N(R) - 1 หรือน้อยกว่าถูกตอบรับกลับหมดแล้ว)โดยที่จะระบุเฟรมข่าวสารที่ต้องการให้ส่งมาใหม่ในเฟรม

REJ ด้วย ทำให้ข่าวสารในเฟรมข่าวสารที่จะทำการส่งต่อไปต้องรอจนกว่าจะส่งเฟรมที่ขอให้ส่งมาใหม่ได้ส่งออกไปแล้ว

สถานะ REJ จะถูกยกเลิกก็ต่อเมื่อรับข่าวสารที่ได้ขอไปครบแล้ว

สามารถที่จะเรียกดูสถานะของ DXE ของคู่สื่อสารด้วยการส่งเฟรมคำสั่ง REJ ไปพร้อมกับบิต P ที่เป็น "1"

4.4.3 ฟิลด์ควบคุมของเฟรมแบบไม่มีลำดับหมายเลข

ฟิลด์ควบคุมของเฟรม U สามารถที่จะเป็นได้ทั้งคำสั่งและคำตอบ รูปที่ 2.26 แสดงแบบของเฟรม U จะสร้างขึ้นจาก โพรโทคอล AX.25

Control Field	Type				
		7 6 5	4	3 2	1 0
Set Asynchronous Balance Mode - SABM	Cmd	0 0 1	P	1 1	1 1.
Disconnect - DISC	Cmd	0 1 0	P	0 0	1 1
Disconnect Mode - DM	Res	0 0 0	F	1 1	1 1
Unnurnbered Acknowledge - UA	Res	0 1 1	F	0 0	1 1
Frame Reject - FRMR	Res	1 0 0	F	0 1	1 1
Unnumbered Information - UI	Either	0 0 0	P/F	0 0	1 1

รูปที่ 2.26 แบบของเฟรม U จะสร้างขึ้นจาก โพรโทคอล AX.25

4.4.3.1 คำสั่งกำหนดสถานีคู่สื่อสารให้อยู่ในโมดสมดุลอะซิงโครนัส (Set Asynchronous Balanced Mode - SABM)

คำสั่ง SABM นี้ใช้กำหนดให้สถานีคู่สื่อสารทั้งสองอยู่ในโมดสมดุลแบบอะซิงโครนัส ซึ่งการกระทำเช่นนี้รู้จักกันในชื่อทั่วๆ ไปว่า LAPB ซึ่งทำให้สถานีสื่อสารทั้งสองข้างมีสถานะเท่าเทียมกัน

ไม่อนุญาตให้ใส่ฟิลด์ข่าวสารไว้ในเฟรมที่มีคำสั่งแบบ SABM ในขณะที่เฟรมคำสั่ง SABM ถูกส่งออกไปนั้น ถ้ามีเฟรมข่าวสารที่ยังไม่ได้รับการตอบรับกลับค้างอยู่ เฟรมข่าวสารนั้นก็จะคงค้างอยู่อย่างนั้น และจะไม่ได้รับการตอบรับเช่นเดิม

การให้การตอบรับคำสั่ง SABM นั้น ทำโดยการส่งเฟรมคำตอบ UA ในทันทีที่ได้รับเฟรมคำสั่ง SABM แต่ถ้าคู่สื่อสารอยู่ในสถานะไม่พร้อมก็จะส่งเฟรมคำตอบแบบ DM

4.4.3.2 เฟรมคำสั่งหยุดการส่งข้อมูล (Disconnect Command : DISC)

เฟรมคำสั่ง DISC เป็นเฟรมคำสั่งที่ส่งออกไปเพื่อหยุดการส่งข้อมูล และไม่อนุญาตให้มีฟิลด์ข่าวสารอยู่ในเฟรมนี้ด้วย

ก่อนที่ทำการหยุดการส่งข้อมูลตามเฟรมคำสั่ง DISC ที่ได้รับ DXE ที่ได้รับเฟรมแบบ DISC จะยืนยันการรับเฟรมโดยส่งเฟรมคำตอบแบบ UA ไปในทันทีที่ได้รับเฟรม DISC DXE ที่ส่งเฟรม DISC ไปจะเปลี่ยนสถานะไปเป็นหยุดส่งข้อมูลเมื่อมันได้รับเฟรมแบบ UA

เช่นเดียวกับคำสั่ง SABM ในขณะที่เฟรมคำสั่ง DISC ถูกส่งออกไปนั้น ...เฟรมข่าวสารที่ยังไม่ได้รับการตอบรับกลับมาค้างอยู่ เฟรมข่าวสารก็ยังคงค้างอยู่อย่างนั้น

4.4.3.3 เฟรมคำตอบเกี่ยวกับการยกเลิกเฟรม(Frame Reject Response:FRMR)

4.4.3.3.1 เฟรมคำตอบแบบ FRMR ส่งออกไปเพื่อรายงานความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดของข้อมูลภายในเฟรม โดยความผิดพลาดนั้นไม่สามารถแก้ไขด้วยการส่งข้อมูลมาใหม่ ความผิดพลาดลักษณะนี้เกิดขึ้นเมื่อได้รับเฟรมที่ไม่มีความผิดพลาดในการตรวจสอบ FCS

ก. การรับเฟรมที่ไม่ถูกต้องหรือเฟรมที่รูปแบบเฟรมคำสั่งหรือเฟรมคำตอบของเฟรมนั้นยังไม่ถูกสร้างขึ้น

ข. การรับเฟรมข่าวสาร ซึ่งฟิลด์ข่าวสารมีจำนวนมากเกินความยาวที่กำหนดไว้

ค. การรับเฟรมที่มีค่า N(R) ไม่ถูกต้อง

ง. การรับเฟรมที่มีฟิลด์ข่าวสารอยู่ แต่เป็นเฟรมประเภทที่ไม่อนุญาตให้มีฟิลด์ข่าวสารอยู่ในเฟรม หรือ การรับเฟรม S หรือ U ซึ่งมีความยาวไม่ถูกต้อง โดยบิต W และ บิต Y ควรจะมีค่าเป็น “1” ทั้งสองค่าเพื่อแสดงเงื่อนไขนี้

จ. การรับเฟรม S ซึ่งบิต F เป็น “1” ยกเว้นอยู่ในระยะเวลาของการแก้ไขข้อมูล หรือยกเว้นขณะที่ตอบรับเฟรมคำสั่งที่ส่งด้วยบิต P เป็น “1” บิต W ควรจะถูกกำหนดให้เป็น “1”

ฉ. การรับเฟรม UA , DM โดยไม่ได้คาดหวังเอาไว้ ค่าบิต W ควรจะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น "1"

ช.การรับเฟรมที่มีค่า N(S) ไม่ถูกต้อง บิต W ควรจะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น "1"ค่า N(R) ที่ไม่ถูกต้องคือเป็นค่า N(R) ของเฟรมก่อนหน้าที่ถูกส่งมาและตอบรับกลับไปแล้วหรือค่าของเฟรม I ยังไม่ได้ส่งและไม่ใช่เฟรมที่จะส่งถัดไปที่ค้างจากการส่งอยู่ ค่า N(S) ที่ไม่ถูกต้องคือ N(S) ที่เท่ากับการส่งครั้งที่แล้วมาของ N(R) + K ซึ่งเท่ากับค่า V(R) ซึ่ง K นี้คือจำนวนที่มากที่สุดของเฟรมที่จะส่งได้ก่อนที่จะได้รับการรับรองความถูกต้อง

เมื่อผู้รับได้รับเฟรมที่มีฟิลด์ควบคุมเป็นแบบที่ผู้รับไม่รู้จักจะตีความว่าเฟรมนั้นเป็นเฟรมที่ผิดพลาด

4.4.3.3.2 เมื่อเฟรม FRMR ถูกส่งออกไป ฟิลด์ข่าวสารจะถูกส่งออกไปด้วย ซึ่งข่าวสารนี้จะเป็นส่วนที่บ่งบอกถึงส่วนที่เกิดปัญหาขึ้น ฟิลด์ข่าวสารนี้จะมีความยาว 3 ไบต์ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.27

Information Field Bits									
2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1									
3 2 1 0 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0									
0 0 0 0	Z	Y	X	W	V(R)	C R	V(S)	0	Reject Frame Control Field

รูปที่ 2.27 ฟิลด์ข่าวสารของเฟรม FRMR

อธิบายรูปดังนี้

ก.บิต 0-7 จะเก็บข้อมูลของฟิลด์ควบคุมของเฟรมที่ถูกยกเลิกไป

ข.V(S) คือตัวแปรสถานะของการส่งในปัจจุบันของอุปกรณ์ที่รายงานผลการยกเลิก (bit 9 เป็นบิตที่ 0)

ค. บิต CR ถูกกำหนดค่าให้เป็น "0" เพื่อบอกว่าเฟรมที่ถูกยกเลิกเป็นเฟรมคำสั่งและเป็น "1" เมื่อเป็นเฟรมคำตอบ

ง. V(R) คือตัวแปรสถานะของการรับของอุปกรณ์ที่รายงานผลการยกเลิก (บิต 13 เป็นบิตที่ 0)

จ. ถ้า W ถูกกำหนดให้เป็น 1 แสดงว่าฟิลด์ควบคุมของเฟรมที่ถูกยกเลิกนั้นผิดพลาดหรือยังไม่ได้สร้างขึ้น

ฉ. ถ้า X เป็น "1" เฟรมซึ่งแสดงเงื่อนไขการยกเลิก เมื่อ U และ S เฟรมมีฟิลด์ข่าวสาร โดยบิต W จะถูกกำหนดให้เป็น "1" ด้วยในกรณีนี้

ช.ถ้า Y เป็น "1" แสดงว่าฟิลด์ข่าวสารของเฟรมที่ถูกยกเลิกมีจำนวนบิตมากกว่าที่กำหนดไว้ โดยจะอธิบายในหัวข้อ 1.4.7.3

ซ.ถ้าบิต Z เป็น "1" เมื่อฟิลด์ควบคุมที่รับได้และส่งค่ากลับในบิตที่ 1-8 มีค่า N(R) ที่ผิดพลาด

ญ. บิต 8,20 และ 23 จะถูกกำหนดให้เป็น "0"

4.4.3.4 การตอบสนองต่อคำสั่งแบบไม่มีหมายเลข(Unnumbered Acknowledge Response,UA) เฟรมตอบสนอง UAนี้เป็นเฟรมตอบสนองการรับรู้จากการรับเฟรม SABMหรือเฟรมคำสั่ง DISC โดยฝ่ายที่รับเฟรมจะไม่ทำคำสั่งที่ส่งมาจนกว่าจะส่งเฟรมตอบรับUA ก่อน และไม่อนุญาตให้บรรจุฟิลด์ข่าวสารในเฟรม UA นี้

4.4.3.5 การตอบสนองโหมดยกเลิก(Disconnected Mode Response,DM)

เฟรม DM จะถูกส่งออกไปเมื่อ DXE ได้รับเฟรมอื่นๆนอกเหนือจากเฟรมSABAเฟรมUIเมื่ออยู่ในโหมดแบบยกเลิกเฟรมDM นี้จะถูกส่งออกไปเป็นคำสั่งร้องขอการ Set Mode,หรือเพื่อบอกว่ามันไม่สามารถที่จะทำการเชื่อมต่อได้ในเวลานี้ การตอบสนองแบบ DM นี้จะไม่อนุญาตให้ส่งฟิลด์ข่าวสารมาในเฟรมด้วย

เมื่อไหร่ก็ตามที่สถานีใดๆได้รับเฟรมแบบ SABM และตัวมันยังไม่สามารถที่จะทำการเชื่อมต่อได้ มันจะส่งเฟรม DM ออกไป เพื่อเป็นการบอกว่ายังไม่อนุญาตให้สถานีต้นทางเชื่อมต่อได้

เมื่อ DXE อยู่ในโหมดยกเลิก DXE จะตอบสนองการรับเฟรมทุกๆแบบด้วย เฟรมแบบ DM ซึ่งบิต P/F จะเซตเป็นค่า 1 ยกเว้นการรับเฟรม SABM หรือเฟรม UI

4.4.3.6 เฟรมข่าวสารแบบไม่มีหมายเลข(Unnumbered Information Frame,UI)

เฟรมข่าวสารแบบไม่มีหมายเลข มีการบรรจุฟิลด์ PID และฟิลด์ข่าวสารและส่งผ่านข้อมูลเหล่านี้ไปตามเส้นทางการสื่อสารภายนอกการควบคุมแบบปกติ ฟิลด์ข่าวสารนี้จะส่งผ่านไป-กลับตามเส้นทางการเชื่อมโยงการควบคุมการส่งผ่านข่าวสาร

เฟรมชนิดนี้ไม่ต้องการการตอบรับ เพราะฉะนั้นถ้ามีเฟรมใดเฟรมหนึ่งขาดหายไป ก็ไม่สามารถที่จะตรวจสอบได้ การรับเฟรม UI ที่มีบิต P- เป็น 1 จะได้รับผลตอบสนองเป็นเฟรม DM เมื่ออยู่ในสถานะยกเลิกหรือเฟรม RR ถ้าอยู่ในสถานะการส่งผ่านข่าวสาร

4.5 การรายงานความผิดพลาดจากเส้นทางการสื่อสาร(Link Error Reporting)และการแก้ไขข้อมูล(Recovery)

มีความผิดพลาดหลายลักษณะในชั้นเชื่อมต่อข้อมูลที่สามารถทำข้อมูลให้ถูกต้องเหมือนเดิมได้โดยไม่ต้องยกเลิกการเชื่อมต่อในระบบสื่อสาร สถานะการผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากความบกพร่องของการทำงานภายในสถานีของ DXE หรือการผิดพลาดของระบบสื่อสาร

4.5.1 เงื่อนไขการไม่ว่างของ DXE (DXE Busy Condition)

เมื่อ DXE ไม่สามารถรับเฟรมข่าวสารได้ชั่วคราว เช่น บัฟเฟอร์ข้อมูลอาจจะเต็ม DXE จะส่งเฟรม RNR (Receive Not Ready) เพื่อเป็นการบอก DXE อีกตัวว่าไม่สามารถที่จะรับเฟรม I ได้ในขณะนั้น การยกเลิกสภาวะเงื่อนไขแบบนี้ทำได้โดยส่งเฟรม UA,RR,REJ หรือ เฟรมคำสั่ง SABM

4.5.2 ความผิดพลาดของหมายเลขลำดับของการส่ง (Send Sequence Number Error)

ถ้าหมายเลขของการส่ง N(S) ไม่เท่ากับค่า V(R) ของสถานีรับ หมายถึงว่าหมายเลขของการส่งผิดพลาด สถานีรับก็จะตัดข้อมูลเฟรม I ทิ้งไป สถานีรับข่าวสารจะไม่ตอบรับจนกว่า N(S) จะเท่ากับ V(R)

ฟิลด์ควบคุมของเฟรมข่าวสารที่ผิดพลาดก็ยังคงมีการตรวจสอบบิต P/F อยู่ จนกระทั่งมีการส่งเฟรม I ใหม่ ที่ถูกต้องก็จะมีการปรับเปลี่ยนค่าบิต P และ N(R)

4.5.3 การเรียกข้อมูลซ้ำ(Reject Recovery)

เฟรม REJ ใช้ในการขอให้ส่งเฟรม I มาใหม่ เนื่องจากได้รับเฟรมที่มีค่า N(S) ผิดพลาดโดยยอมให้ส่งเฟรม REJ ได้เพียงครั้งเดียวก่อนที่ได้รับเฟรมในการตอบรับเฟรม REJ ที่ส่งไปในครั้งแรก เมื่อฝ่ายผู้ที่ได้รับเฟรม REJ ได้ส่งเฟรมข่าวสารตามที่ผู้ส่ง REJ ได้ร้องขอไปเรียบร้อยแล้วสถานะของการเรียกข้อมูลซ้ำก็จะถูกยกเลิก DXE ที่ได้รับเฟรม REJ จะส่งเฟรมข่าวสารที่ค้างการตอบรับออกไปทั้งหมด โดยเริ่มจากเฟรมที่มีหมายเลขตามที่ระบุด้วยค่า N(R) ของเฟรม REJ เมื่อส่งเฟรมเสร็จแล้วก็จะยกเลิกสถานะการเรียกข้อมูลซ้ำ

4.5.4 การแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาดตามระยะเวลาที่กำหนด(Time-outError Recovery)

4.5.4.1 การแก้ไขข้อมูลตามระยะเวลาของตัวตั้งเวลา T1 (T1 Timer Recovery)

ถ้า DXE ปลายทางไม่ได้รับเฟรมข้อมูลเนื่องจากความผิดพลาดระหว่างการส่งหรือรับได้แต่ทิ้งข่าวสารนั้นไป ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าเกิดความผิดพลาดของหมายเลขลำดับในการส่ง DXE ปลายทางนั้นจะยังไม่ส่งเฟรม REJ ไปยัง DXE ที่ต้นทาง DXE ต้นทางที่ส่งข่าวสารจะตั้งเวลาของตัวตั้งเวลา T1 เพื่อรอการตอบรับ ถ้าครบเวลาแล้วยังไม่มีการตอบรับ จะส่งเฟรมข่าวสารไปใหม่ (รายละเอียดจะอธิบายในหัวข้อ(5.9.9)การยกเลิกสภาวะนี้ทำได้เมื่อได้รับการตอบรับ (Acknowledgement) จากสถานีคู่สื่อสารหรือเมื่อรีเซตการเชื่อมต่อของระบบ (ดูในหัวข้อ 5.6)

4.5.4.2 การแก้ไขข้อมูลตามระยะเวลาของตัวตั้งเวลา T3 (Timer T3 Recovery)

ตัวตั้งเวลา T3 ใช้งานเพื่อเป็นการประกันว่าการเชื่อม-โยงยังคงอยู่ในระหว่างที่มีการส่งผ่านข้อมูลน้อยๆ เมื่อไหร่ก็ตามที่ T1 ยังไม่ได้ใช้งาน (ไม่มีเฟรม I ที่ค้างการตอบรับ) โดยจะตั้งเวลาของตัวตั้งเวลา T3 เป็นระยะเวลาช่วงหนึ่งที่ใช้ในการโพล DXE อื่นๆของเส้นทางสื่อสาร เมื่อถึงระยะเวลาตามที่ตั้งไว้ ก็จะทำการส่งเฟรม RR หรือ RNR โดยเซตบิต P จากนั้นกระบวนการรอการตอบรับก็เริ่มดำเนินการ

4.5.5 เฟรมที่มี FCS ผิดพลาด

เมื่อรับเฟรมที่มี FCS ผิดพลาด เฟรมนี้จะถูกทิ้งไป

4.5.6 เงื่อนไขของการยกเลิกเฟรม

เงื่อนไขการยกเลิกเฟรม ที่กล่าวผ่านมาเมื่อเกิดการยกเลิกเฟรม จะไม่มีการรับเฟรมข่าวสารที่ส่งตามมาภายหลัง(ยกเว้นการตรวจสอบบิต P/F) จนกว่าความผิดพลาดนั้นได้รับการแก้ไขเรียบร้อยแล้ว ความผิดพลาดต่างๆจะถูกรายงานไปยัง DXE ของคู่สื่อสารด้วยเฟรม FRMR

5.กระบวนการทำงานของ AX.25

กระบวนการทำงานต่อไปนี้เป็นกระบวนการที่กำหนดโดยโพรโทคอล AX.25 เพื่อใช้ในการเริ่มต้น, ใช้, ยกเลิกการติดต่อระหว่างคู่สถานีสื่อสาร

5.1 การใช้งานของฟิลด์ที่อยู่ (Address Field Operation)

5.1.1 ข่าวสารของฟิลด์ที่อยู่ (Address Information)

ฟิลด์ที่อยู่จะมีข่าวสารของที่อยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนของสถานีต้นทาง และสถานีปลายทาง การส่งข้อมูลของฟิลด์ที่อยู่นี้ข้อ ในโพรโทคอล AX.25 กำหนดให้ส่งฟิลด์ที่อยู่ในส่วนของสถานีปลายทางก่อน ซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญของระบบเครือข่ายที่จะใช้ช่องสัญญาณร่วมกันในความถี่เดียวกันได้ คือ สถานีปลายทางรับข่าวสารข้อมูลแล้วสามารถตรวจสอบได้ทันทีว่าข้อมูลข่าวสารที่ส่งมานั้นเป็นของตนเองหรือไม่

ฟิลด์ที่อยู่ของสถานีปลายทางส่วนมากจะเป็นชื่อของกลุ่ม หรือสัญญาณเรียกขานของสมาคมต่างๆ ซึ่งอยู่ในโมดการทำงานแบบหนึ่งจุดไปยังหลายจุด (point - to - multipoint)

5.1.2 กระบวนการของคำสั่ง / คำตอบ

AX.25 เวอร์ชั่น 2.0 ได้มีการสร้างข่าวสารของคำสั่ง/คำตอบ ขึ้นในฟิลด์ที่อยู่ เพื่อที่จะให้สอดคล้องกับเวอร์ชั่นรุ่นเก่าของ AX.25 ข่าวสาร/คำตอบ เราจะใช้ข้อมูล 2 บิต ในการส่งผ่านข้อมูลเพื่อเป็นสิ่งบ่งบอกว่าเฟรมนั้นเป็นเฟรมคำสั่งหรือเฟรมคำตอบ

การตรวจสอบความสอดคล้องของ AX.25 ว่าเป็นเวอร์ชันเก่า หรือเวอร์ชันใหม่ DXE จะตรวจสอบบิตคำสั่ง/คำตอบ ซึ่งเป็นบิตที่ 7 ของ SSID ของสถานีต้นทางและสถานีปลายทาง ถ้าบิตทั้ง 2 นี้เป็น “0” แสดงว่าเป็นโพรโทคอลเวอร์ชันเก่า สำหรับโพรโทคอลในเวอร์ชันใหม่ 2 บิตนี้จะมีบิตใดบิตหนึ่งมีค่าเป็น “1” และอีกบิตที่เหลือต้องเป็น “0” ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าเป็นเฟรมคำสั่งหรือเพ่รมคำตอบ

การเข้ารหัสของ 2 บิตดังกล่าวมานี้ แสดงดังรูปที่ 2.28

ชนิดของเฟรม	C-Bit SSID ของสถานีปลายทาง	C-Bit SSID ของสถานีต้นทาง
เวอร์ชันเดิม	0	0
คำสั่ง (V.2.0)	1	0
คำตอบ (V.2.0)	0	1
เวอร์ชันเดิม	1	1

รูปที่ 2.28 การเข้ารหัส C-Bit

เนื่องจากทุกๆ เฟรมที่ส่ง/รับ จะต้องเป็นเฟรมชนิดคำสั่งหรือเฟรมคำตอบ ดังนั้น C-Bit จะต้องเป็นบิต “1” 1 บิต และ บิต “0” 1 บิต

5.2 การทำงานของบิต P/F

เมื่อ DXE ส่งเฟรมคำสั่ง SABM หรือ DISC ด้วยบิต P เท่ากับ "1" ไปก็จะได้รับ-เฟรมคำตอบซึ่งจะเป็นเฟรมคำตอบ UA หรือ DM โดยมีบิต F เท่ากับ "1"

เมื่อ DXE ส่งเฟรมข่าวสารพร้อมทั้งบิต P เท่ากับ "1" ก็จะได้รับคำตอบด้วยเฟรม RR, RNR หรือ REJ โดยมีบิต F เท่ากับ "1"

เมื่อ DXE ส่งคำสั่งเฟรมตรวจตรา โดยมีบิต P เท่ากับ "1" ในระหว่างสภาวะการส่งผ่านข้อมูล ก็จะได้รับคำตอบเป็น RR, RNR หรือ REJ โดยมีบิต F เท่ากับ "1"

คำตอบของคำสั่งเฟรมตรวจตรา, เฟรมข่าวสารที่มี P เป็น "1" นั้นในระหว่างสภาวะ การยกเลิก คือ เฟรมคำตอบ DM ที่มีบิต F เท่ากับ "1" และยังมีบิต P ที่ใช้ในเงื่อนไขของการตั้ง เวลาต่างๆ ซึ่งได้อธิบายผ่านมาแล้ว เมื่อไม่ได้ใช้บิต P/F จะมีค่าเป็น "0"

5.3 กระบวนการเริ่มการติดต่อและการยกเลิกการติดต่อ

5.3.1 การเชื่อมต่อระบบแบบ LAPB

เมื่อ DXE ต้นทางต้องการติดต่อกับ DXE ที่ปลายทางจะส่งเฟรมคำสั่ง SABM ออกไปพร้อมทั้งตั้งเวลาของตัวตั้งเวลา T1 ถ้า DXE ที่ปลายทางสามารถที่จะเชื่อมต่อระบบกับ DXE ที่ต้นทางได้ก็จะส่งเฟรมคำตอบ UA และตั้งค่าตัวแปรสภาวะภายใน V(S),V(R) ให้เป็น "0" และเมื่อ DXE ที่ต้นทางได้รับเฟรม UA จาก DXE ที่ปลายทางก็จะยกเลิกการตั้งเวลาของตัวตั้งเวลา T1 และตั้งค่าตัวแปรสภาวะภายในเป็น "0"

ถ้า DXE ปลายทางไม่สามารถจะส่งเฟรมคำตอบกลับภายในเวลาที่ตั้งไว้โดยตัวตั้งเวลาT1 DXE ที่ต้นทางจะส่งเฟรม SABM ออกไปอีกครั้งหนึ่ง และเริ่มตั้งเวลาของตัวตั้งเวลา T1 อีกครั้งหนึ่ง โดย DXE ที่ต้นทางจะพยายามขอเชื่อมต่อระบบเป็นจำนวน N2 ครั้ง ค่า N2 จะอธิบายในหัวข้อถัดๆไป

ถ้า DXE ที่ปลายทางได้รับเฟรม SABM แล้วอยู่ในสภาวะยังไม่พร้อมในการเชื่อมต่อกับ DXE ที่ต้นทาง ก็จะส่งเฟรม DM ไปยัง DXE ที่ต้นทาง และเมื่อ DXE ที่ต้นทางได้รับเฟรม DM ก็จะยกเลิกการตั้งเวลาของตัวตั้งเวลา T1 และจะไม่เข้าสู่สภาวะการส่งผ่านข่าวสาร

ในขณะที่ DXE ใดๆกำลังส่งเฟรม SABM จะไม่รับเฟรมใดๆ ยกเว้น เฟรม SABM, DISC, UA และ เฟรม DM จาก DXE อื่นๆ

เฟรมอื่นๆ ที่นอกเหนือจากเฟรม UA, DM ที่จะตอบสนองเฟรม SABM จะส่งได้เมื่อ ติดต่อกับคู่สื่อสารเรียบร้อยแล้ว

5.3.2 สถานะการส่งผ่านข่าวสาร

หลังจากกระบวนการเริ่มเชื่อมต่อระบบเรียบร้อยแล้ว DXE ที่ติดต่อด้วยจะเข้าสู่สถานะการส่งผ่านข่าวสาร ซึ่งในสถานะการส่งผ่านข่าวสาร ซึ่งในสถานะนี้ DXE จะรับ/ส่งเฟรม I, เฟรม S ด้วยกระบวนการในหัวข้อที่ 4

เมื่อ DXE ได้รับเฟรม SABM ขณะอยู่ในสถานะส่งผ่านข่าวสาร DXE จะทำกระบวนการรีเซต ในหัวข้อที่ 6 ซึ่งจะอธิบายต่อไป

5.3.3 การยกเลิกการติดต่อ

5.3.3.1 ขณะที่ DXE ในสถานะการส่งผ่านข่าวสาร DXE ที่ติดต่อด้วยจะขอยกเลิกการติดต่อได้โดยส่ง DISC และเริ่มตั้งเวลาของตัวตั้งเวลา T1 (ดูหัวข้อที่ 5.7)

5.3.3.2 เมื่อ DXE ที่ติดต่อด้วยได้รับเฟรมคำสั่ง DISC ก็จะส่งเฟรมคำตอบ UA และเข้าสู่สภาวะ ยกเลิก DXE ที่ได้รับเฟรม UA หรือ DM ก็ยะยกเลิกการตั้งเวลาของตัวตั้งเวลา T1 และเข้าสู่สถานะยกเลิกการติดต่อ

5.3.3.3 ถ้า DXE ไม่ได้รับเฟรม UA หรือ DM ก็จะส่งเฟรม DISC พร้อมทั้งตั้งเวลาของตัวตั้งเวลา T1 ใหม่ และจะพยายามส่งเฟรม N2 ครั้ง หลังจากนั้นก็จะก้าวเข้าสู่สภาวะยกเลิก

5.3.4 สถานะยกเลิกการติดต่อ

5.3.4.1 DXE ที่อยู่ในสถานะยกเลิกการติดต่อ จะรอรับเฟรม SABM และทำกระบวนการต่างๆดังกล่าวไปแล้วและส่งเฟรมคำตอบแบบ DM เมื่อได้รับคำสั่ง DISC

5.3.4.2 DXE ที่อยู่ในสถานะยกเลิก และได้รับคำสั่งต่างๆ นอกเหนือจากเฟรม SABM หรือ UI โดยมีบิต P เป็น "1" ก็จะส่งเฟรมคำตอบแบบ DM พร้อมทั้งเซตบิต F เป็น 1

5.3.5 การแก้ไขข้อมูลเมื่อเกิดการชนกัน (Collision Recovery)

5.3.5.1 การชนกันในระบบทำงานแบบกึ่ง 2 ทิศทาง (Half-Duplex Environment)

การแก้ปัญหาการชนกันของเฟรมที่ส่งออกมาในระบบสื่อสารแบบกึ่ง 2 ทิศทางทำ ได้โดยใช้วิธีการส่งข้อมูลซ้ำใหม่ตามระยะเวลาในการตั้งเวลาของตัวตั้งเวลา T1

5.3.5.2 การชนกันของคำสั่งแบบไม่มีหมายเลข (Collision of Unnumbered Commands)

ถ้าส่งและรับเฟรม SABM หรือ DISC เหมือนกัน DXE ทั้งสองจะส่งเฟรม UA ตอบสนองไปโดยเร็วที่สุดและสถานีทั้งสองจะเข้าสู่การทำงานตามสถานะตามเฟรม SABM หรือ DISCหรือถ้า DXE ที่หนึ่งส่ง SABM แต่อีกที่หนึ่งส่ง DISC DXE ทั้งสองจะเข้าสู่สถานะยกเลิกการติดต่อและจะส่งเฟรมแบบ DM ออกไปโดยเร็วที่สุด

5.3.5.3 การชนของ DM ด้วย SABM หรือ DISC

เมื่อเกิดการส่งเฟรม DM ที่ไม่ได้เรียกให้ตอบสนอง อาจเกิดการชนกันกับเฟรม SABM หรือ DISC เพื่อจะป้องกันไม่ให้เกิดการตีความเฟรม DM ที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้ผิดไปจะต้องส่งเฟรมออกไปโดยมีบิต F เป็นค่า "0" และทุกๆ เฟรม SABM และ เฟรม DISC จะต้องส่งออกไปด้วยบิต P มีค่าเป็น "1" การป้องกันนี้จะป้องกันการสับสนใน การรับเฟรม DM ด้วย

5.3.6 การทำงานแบบไม่มีการขอติดต่อ (Connectionless Operation)

ในระบบทางวิทยุสมัครเล่น การติดต่อแบบไม่มีการร้องขอการทำงานจะไม่ใช้หลักการ ของการเชื่อมต่อแบบ AX.25 แต่จะใช้โครงสร้างเฟรมที่เหมือนกัน โดยจะใช้เฟรมแบบไม่มีหมายเลข (Unnumbered Information Frame) เมื่อระบบทำงานในโหมดแบบไม่มีการขอติดต่อนี้ ฟิลด์ที่อยู่ของสถานีปลายทางควรจะเป็นรหัส พิเศษเพื่อป้องกันการส่งเฟรมโต้ตอบกันไปๆ มาๆ ซึ่งจะทำให้ช่องสัญญาณนี้มีปัญหาการใช้ขึ้นมา ซึ่งการเข้ารหัสและการใช้งานในโมดลักษณะเช่นนี้จำเป็นต้องเขียนซอฟต์แวร์ขึ้นมารองรับการทำงาน

เนื่องจากโหมดการทำงานแบบนี้ไม่มีการขอติดต่อ (Connectionless) จึงไม่มีเฟรมโต้ตอบ และไม่มีการขอส่งข้อมูลใหม่ (Retransmissions) เนื่องจากเฟรมผิดพลาด ดังนั้นการชนกันของข้อมูลเกิดอาจขึ้นได้

5.4 กระบวนการส่งผ่านข่าวสาร (Procedure for Information Transfer)

กระบวนการส่งผ่านข่าวสารเกิดขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการเชื่อมต่อระบบแล้ว (ตามที่กล่าวมาข้างต้น) อุปกรณ์ต้นทางและอุปกรณ์ปลายทางสามารถที่จะรับ-ส่ง เฟรม I, S และ U ได้

5.4.1 การส่งเฟรมข่าวสาร (Sending I Frames)

เมื่อ DXE ต้องการส่งเฟรมข่าวสาร มันก็จะส่งเฟรม I พร้อมค่า N(S) ในฟิลด์ควบคุมที่มีค่าเท่ากับตัวแปรสถานะส่งปัจจุบัน (Current Send State Variable V(S)) และเมื่อเฟรม I ถูกส่งออกไปแล้ว ค่าตัวแปรสถานะของการส่งจะเพิ่มขึ้นหนึ่ง ถ้าตัวตั้งเวลา T1 ยังไม่เริ่มจับเวลาก็ จะเริ่มจับเวลา และถ้า T1 อยู่ในระหว่างการจับเวลา มันก็จะเริ่มจับเวลาใหม่อีกครั้งหนึ่ง

DXE จะไม่ส่งเฟรมข่าวสารเพิ่มเติม ถ้าค่าตัวแปรสถานะการส่งเท่ากับค่า N(R) ค่าเก่าบวกกับ 7 ของคู่สถานีสื่อสาร แต่ถ้า DXE ส่งข่าวสารออกไปดังเงื่อนไขที่กล่าวมาจะเกิดความผิดพลาดขึ้น

ถ้า DXE อยู่ในสภาวะไม่ว่าง มันอาจจะยังคงส่งเฟรมข่าวสารตราบเท่าที่สถานีอื่นพร้อมรับข้อมูล

ถ้า DXE อยู่ในโมดการยกเลิกเฟรม (Frame Rejection Mode) มันจะหยุดส่งเฟรมข่าวสารทันที

5.4.2 การรับเฟรมข่าวสาร

5.4.2.1 ถ้า DXE ได้รับเฟรมข่าวสารที่ถูกต้อง (มี FCS ที่ถูกต้องและค่าหมายเลขลำดับของการส่งเท่ากับตัวแปรสถานะการรับของสถานีรับข้อมูล) และมันไม่ได้อยู่ในสถานะไม่ว่าง มันก็จะรับเฟรมข่าวสารนั้น และเพิ่มค่าตัวแปรสถานะการรับและดำเนินต่อไปด้วยกระบวนการดังต่อไปนี้

ก. ถ้ามีเฟรมข่าวสารที่จะส่ง ก็จะส่งเฟรมข่าวสารนั้นด้วยค่า N(R) ที่เท่ากับ V(R) ของมัน เอง (ซึ่งเป็นการตอบรับว่ารับเฟรมที่ส่งมาได้ถูกต้อง) ในอีกวิธีหนึ่งคือสถานีอาจจะส่งเฟรม RR ด้วย ค่า N(R) ที่เท่ากับ V(R) ตามด้วยการส่งเฟรมข่าวสารออกไป

ข. ถ้าไม่มีเฟรมข่าวสารที่จะส่งออกไปสถานีที่รับข้อมูลจะส่งเฟรมRRด้วยค่า N(R) เท่ากับ V(R) ออกไป DXE อาจจะรอสักครู่ก่อนส่งเฟรม RR ออกไปเพื่อเป็นการแน่ใจว่าจะไม่มีเฟรมข่าวสารเพิ่มเติมที่จะส่งตามออกไป

5.4.2.2 ถ้า DXE อยู่ในสถานะไม่ว่าง มันจะไม่รับเฟรมข่าวสารและส่งข้อมูลแสดง สถานะไม่ว่างออกมา

ถ้าเกิดสถานะไม่ว่าง DXE ที่ได้รับการแจ้งสภาวะไม่ว่างก็จะโพล (poll) สถานีที่ส่งสถานะไม่ว่างเป็นรายคาบจนกระทั่งสถานะไม่ว่างหายไป

DXE จะโพล DXE ที่ไม่ว่างเป็นรายคาบด้วยเฟรมแบบ RR หรือ RNR ด้วยบิต P เป็นค่า "1"

5.4.3 การรับลำดับเฟรมผิดพลาด (Reception of out of Sequence Frames)

การรับเฟรมข่าวสารโดยมีค่า FCS ที่ถูกต้อง แต่หมายเลขลำดับผิดพลาด, N(S) ไม่สอด-คล้องกับตัวแปรสถานะการรับปัจจุบันของตัวรับ เฟรมนั้นจะถูกตัดออก เฟรม REJ จะถูกส่งออก ไปด้วยค่าหมายเลขลำดับที่เพิ่มขึ้นอีกหนึ่ง (modulo 8) ของค่าหมายเลขลำดับที่รับได้ถูกต้องล่าสุดที่รับได้ ตัวแปรสถานะของการรับและบิต P ของเฟรมที่ถูกตัดทิ้ง ควรจะถูกตรวจสอบด้วยถ้าจำเป็นก่อนจะตัดเฟรมนั้นทิ้งไป

5.4.4 การรับเฟรมที่ไม่ถูกต้อง (Reception of Incorrect Frames)

เมื่อ DXE ได้รับเฟรมด้วยค่า FCS ที่ผิดพลาด ก็จะตัดเฟรมนั้นทิ้งไป

5.4.5 การรับการตอบรับ (Receiving Acknowledgement)

เมื่อการรับเฟรม I หรือเฟรม S ที่ถูกต้อง ถึงแม้จะอยู่ในสภาวะไม่ว่าง, ค่า N(R) ของเฟรม ที่ได้รับได้จะถูกตรวจสอบว่ามีการตอบรับความถูกต้องของเฟรมข่าวสารที่ถูกส่งออกไป ตัวตั้งเวลา T1 จะ ยกเลิกการจับเวลา แต่ถ้ายังไม่ได้รับการตอบรับหลังจากส่งเฟรมข่าวสารออกไปแล้ว T1 ก็จะจับเวลาต่อไป จนกระทั่งถึงระยะเวลาที่ตั้งไว้ของ T1 ก็จะส่งข่าวสารออกไปใหม่ตามกระบวนการในหัวข้อ 4.9

5.4.6 การรับเฟรม REJ (Receiving Reject)

จากที่กล่าวมาแล้วนั้น การรับเฟรม REJ DXE ที่ส่งเฟรม REJ จะตั้งค่าตัวแปรสถานะของ การส่งเป็นค่าเดียวกับหมายเลขลำดับการรับในฟิลด์ควบคุมของเฟรม REJ DXE ที่ได้รับเฟรม REJ จะส่งเฟรมข่าวสารใหม่อีกครั้งหนึ่ง ตามลักษณะดังต่อไปนี้

ก. ถ้า DXE ไม่ได้ส่งข้อมูลอยู่และช่องสัญญาณว่างก็จะส่งข้อมูลไปใหม่ในทันที

ข. ถ้า DXE ทำงานในแบบสองทิศทาง (Full-Duplex) และกำลังส่งเฟรม UI หรือเฟรม S อยู่เมื่อมันได้รับเฟรม REJ มันก็จะส่งเฟรม UI หรือเฟรม S ให้เรียบร้อยแล้ว และก็จะส่งเฟรมข่าวสารไปอีกครั้ง

ค. ถ้า DXE ทำงานแบบสองทิศทาง และกำลังส่งเฟรมข่าวสารอื่นๆ เมื่อมันได้รับเฟรม REJ จะยกเลิกการส่งข่าวสารนั้นและจะส่งเฟรมข่าวสารที่ถูกร้องขอใหม่ในทันที

ง. DXE อาจจะส่งเฟรมข่าวสารเพียงหนึ่งเฟรมที่ค้างการตอบรับอยู่ หรืออาจจะส่งมากกว่านั้นถ้ามีเฟรมค้างการตอบรับอยู่มากกว่าหนึ่งเฟรม โดยที่เฟรมที่ค้างการตอบรับอยู่จะมีไม่เกิน 7 เฟรม

ถ้า DXE ได้รับเฟรม REJ พร้อมทั้งบิต P ถูกกำหนดให้เป็นหนึ่ง มันควรจะตอบสนองด้วย เฟรม RR หรือ RNR โดยมีบิต F เป็นหนึ่ง ก่อนที่จะส่งเฟรมข่าวสารใหม่อีกครั้งหนึ่ง

5.4.7 การรับเฟรมแบบ RNR

เมื่อ DXE ได้รับเฟรมแบบ RNR มันจะหยุดการส่งเฟรมข่าวสาร จนกระทั่งสถานะไม่ว่าง ถูกยกเลิก ถ้าถึงระยะเวลาตามที่ตั้งไว้โดยตัวตั้งเวลา T1 หลังจากได้รับเฟรม RNR การรอรับการตอบรับจะเป็นไป ตามกระบวนการในหัวข้อ 4.9 ที่จะกล่าวต่อไป อาจใช้บิต P ในเฟรม S เพื่อ ทดสอบสถานะไม่ว่างของ DXE ที่ติดต่อด้วย

5.4.8 การส่งเพื่อชี้บ่งสถานะไม่ว่าง (Sending a Busy Indication)

เมื่อ DXE อยู่ในสถานะไม่ว่าง มันจะบอกด้วยการส่งเฟรมตอบสนองแบบ RNR และขณะที่ DXE อยู่ในสถานะไม่ว่าง มันอาจจะรับเฟรม S ได้ และถ้ามันได้รับเฟรม S โดยที่บิต P กำหนดค่าเป็นหนึ่ง DXE จะส่งเฟรม RNR ด้วยบิต F เป็นหนึ่งตอบกลับไป การที่จะยกเลิกลบสถานะไม่ว่าง DXE จะส่งเฟรม RR หรือ เฟรม RNR พร้อมด้วยค่าหมายเลขลำดับของการรับที่เท่ากับตัวแปรสถานะการรับในปัจจุบัน ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าการรับเฟรมข่าวสาร ครั้งสุดท้ายนั้นเป็นการรับที่ถูกต้องหรือไม่

5.4.9 การรอการตอบรับ (Waiting Acknowledgement)

ถ้าตัวตั้งเวลา T1 ได้หมดเวลาในการรอการตอบรับจาก DXE ที่ติดต่อด้วย สำหรับเฟรมข่าวสารที่ได้ถูกส่งออกไป DXE จะตั้งเวลาใหม่อีกครั้งหนึ่ง และส่งคำสั่งเฟรมตรวจตราที่เหมาะสม (RR หรือ RNR) โดยมีบิตโพลเป็น "1" ถ้า DXE นั้นได้รับเฟรมตอบสนองที่ถูกต้องโดยมีบิต F เป็น "1" และค่า N(R) อยู่ในช่วง N(R) ที่รับได้ที่แล้วมา ถึงค่า N(S) สุดท้ายบวกด้วยหนึ่ง DXE จะจับเวลา T1 ใหม่ และจะเซ็ตค่า V(S) ให้เป็น N(R) ที่รับได้ มันอาจจะย้อนคืนค่าเดิมได้จากการส่งเฟรม ข่าวสารหรือการส่งเฟรมข่าวสารใหม่ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ตามความเหมาะสม ในทางตรงกันข้าม ถ้า DXE ได้รับ การตอบสนองด้วยเฟรมตรวจตราที่ถูกต้องด้วยบิต F ที่เป็น "0" หรือเฟรมข่าวสาร หรือคำสั่งเฟรมตรวจตราด้วยค่า N(R) อยู่ในช่วง N(R) ที่รับได้ที่ผ่านมาถึงค่าN(S) สุดท้ายที่ส่งบวกด้วยหนึ่ง และ DXE จะยกเลิกการจับเวลาซ้ำอีกครั้งหนึ่ง แต่จะใช้ N(R) ที่รับได้เป็นสิ่งบ่งการตอบรับของการส่งเฟรมข่าวสารที่เพิ่มขึ้น และรวมทั้งเฟรมข่าวสารที่มีหมายเลข N(R) - 1

ถ้าตัวจับเวลา T1 หมดเวลาก่อนที่ได้รับการตอบสนองด้วยเฟรม S โดยมีบิต F ถูกเซ็ต DXE จะส่งเฟรม RR หรือเฟรม RNR ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ด้วยบิต P ที่ถูกเซ็ต โดยจะ

พยายามส่งไปเป็น จำนวน N2 ครั้ง เพื่อที่จะให้ได้การตอบสนองเฟรม S ด้วยบิต F ที่ถูกเซ็ตจาก DXE คู่สื่อสาร DXE ก็เริ่มการเชื่อมต่อระบบใหม่ และรีเซ็ตกระบวนการต่างๆ โดยจะบรรยายในหัวข้อที่ 5.6 ต่อไป

5.5 เงื่อนไขของการยกเลิกเฟรม (Frame Rejection Condition)

DXE จะยกเลิกการเชื่อมต่อระบบโดยการถามไปยัง DXE อื่น เพื่อจะรีเซ็ตการเชื่อมต่อ โดยส่งการตอบสนองแบบเฟรม FRMR โดยดูในหัวข้อที่ 6.3

หลังจากการส่งเฟรม FRMR DXE ของสถานีส่งเฟรมก็จะเข้าสู่เงื่อนไขการยกเลิกเงื่อนไข นี้สามารถละทิ้งโดยส่งเฟรม FRMR แล้วได้รับเฟรม SABM หรือเฟรม DISC หรือเฟรมตอบสนอง DM

เมื่อ DXE ส่งเฟรม FRMR ก็จะเริ่มจับเวลา T1 และถ้าไม่ได้รับเฟรม SABM หรือเฟรม DISC ก็จะส่งเฟรม FRMR ออกไปใหม่ พร้อมจับเวลา T1 ใหม่ โดยจะพยายามส่ง FRMR N2 ครั้ง ถ้าไม่สำเร็จก็จะรีเซ็ตการเชื่อมต่อระบบทันที

5.6 กระบวนการรีเซ็ต (Resetting Procedure)

5.6.1 กระบวนการรีเซ็ตใช้เมื่อต้องการจะเริ่มต้นส่งข้อมูลใหม่ เมื่อไม่สามารถแก้ไขข้อผิด-พลาดจากการส่งผ่านข้อมูลต่างๆ กระบวนการรีเซ็ตใช้ในขั้นตอนที่อยู่ในสถานะการส่งถ่ายข้อมูล ของ AX.25 เท่านั้น

5.6.2 DXE จะเริ่มการรีเซ็ต เมื่อมันได้รับการตอบสนอง UA ที่ไม่ได้คาดหวัง หรือการตอบ สนองที่ไม่ได้เรียกร้องโดยมีบิต F ถูกเซ็ต และ DXE จะเริ่มรีเซ็ตเมื่อได้รับเฟรม FRMR และในทาง ตรงกันข้าม DXE จะตอบสนองเฟรม FRMR ด้วยเฟรม DISC

5.6.3 DXE จะรีเซ็ตการเชื่อมต่อโดยการส่งเฟรม SABM และเริ่มจับเวลา T1 หลังจากที่ได้ รับเฟรม SABM จาก DXE ที่ได้ติดต่อด้วยที่ผ่านมา โดยจะส่งเฟรม UA ออกไปเร็วที่สุด และมีการ ตั้งค่าตัวแปรสถานะการส่ง-การรับ V(S), V(R) เป็น "0" และหยุดเวลา T1 ถ้ามันไม่สามารถที่จะส่ง เฟรม SABM หรือ DISC ด้วยตัวมันเองได้ ถ้ารับเฟรม UA ถูกต้อง DXE ก็จะเริ่มรีเซ็ตตัวแปร สถานะต่างๆ V(S), V(R) พร้อมทั้งหยุดตัวตั้งเวลา T1 พร้อมทั้งเงื่อนไขการไม่ว่างต่างๆ ที่ผ่านมาจะ ถูกลบทิ้งทั้งหมด

ถ้าได้รับการตอบสนองด้วยเฟรม DM DXE จะเข้าสู่สถานะการยกเลิกและหยุดเวลา T1 ถ้า T1 หมดเวลาก่อนที่จะได้รับเฟรม UA หรือ DM เฟรม SABM จะถูกส่งออกไปใหม่อีกครั้ง และ เริ่มจับเวลา T1 ถ้า T1 หมดเวลาเป็นเวลา N2 ครั้ง DXE ก็จะเข้าสู่สถานะการยกเลิก และเงื่อนไข ต่างๆ ที่ผ่านมาจะถูกลบทิ้งทั้งหมด

คำสั่งและการตอบสนองต่างๆ ที่รับได้โดย DXE ก่อนกระบวนการรีเซ็ตสมบูรณ์จะถูกยก เลิกทั้งหมด

5.6.4 DXE หนึ่งอาจจะร้องขอการรีเซ็ตจาก DXE อื่น โดยส่งเฟรมตอบสนอง DM หลัง จากเฟรม DM ถูกส่งออกไป DXE ที่ส่งนั้นก็จะเข้าสู่สถานะการยกเลิก

5.7 การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ (List of System Defined Parameters)

5.7.1 ตัวตั้วเวลา (Timers)

5.7.1.1 ตัวตั้งเวลาของการตอบรับ T1 (Acknoowledgement Timer T1)

ตัวตั้งเวลา T1 ถูกใช้งานเพื่อให้แน่ใจว่า DXE จะไม่รอผลตอบสนองนานเกินไป ค่าเวลา T1 นี้จะไม่เป็นค่าแน่นอนตายตัว เนื่องจากเวลาในการส่งเฟรมต่างๆ จะแปรผันตามอัตราการส่งข้อมูลโดยเวลา T1 จะเป็น 2 เท่าของการส่งข้อมูลที่มากที่สุดของเฟรมขาไปและขากลับรวมกัน รวมทั้งเวลาของการทำกระบวนการต่างๆ ในแต่ละ DXE ด้วย

ถ้าใช้ระบบที่มีสถานีทวนสัญญาณ ค่าของ T1 จะถูกปรับให้สอดคล้องให้เท่ากับจำนวนของสถานีทวนสัญญาณด้วย

5.7.1.2 ตัวตั้งเวลาการตอบสนองการรอ T2 (Response Delay Timer T2)

ตัวตั้งเวลา T2 อาจจะสร้างขึ้นโดย DXE เพื่อเป็นตัวชี้บ่งว่าเวลาที่รอระหว่างการ รับเฟรมข่าวสาร โดยจะมีเวลาที่รอเฟรมข่าวสารที่รับเพื่อที่จะส่งเฟรมตอบรับ โดยจะรอเวลาสั้นๆ ช่วงหนึ่งเพื่อที่จะรับเฟรมข่าวสารหลายๆ เฟรม แล้วจึงส่งเฟรมตอบรับเพียงครั้งเดียว โดยรับเฟรม ข่าวสารสูงสุดได้ถึง 7 เฟรม ซึ่งดีกว่าที่จะมีการตอบรับทั้ง 7 ครั้ง ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ ช่องสัญญาณ

บนการทำงานในแบบ 2 ทิศทาง การตอบรับควรจะรอไม่เกิน K/2 เฟรม โดยค่า K จะกำหนดค่าตามหัวข้อ 7.4

5.7.1.3 ตัวตั้งเวลา T3 แบบ Inactive Link (Inactive Link Timer T3)

ตัวตั้งเวลา T3 ใช้เมื่อ T1 ไม่ได้ทำการควบคุมการเชื่อมสัญญาณ ซึ่งเป็นการอ้าง ว่า เมื่อไรก็ตามที่ไม่มีเฟรมตอบรับเฟรมข่าวสารค้างอยู่ (ในระหว่างการส่งผ่าน ข่าวสาร) เฟรม RR หรือ เฟรม RNR พร้อมทั้งบิต P เซ็ต จะส่งทุกๆ เวลา T3 เพื่อที่จะซักถาม สถานะ DXE อื่นๆ คาบเวลา T3 จะกำหนดเอง โดยขึ้นกับการทำงานในชั้นข้อมูลที่ 1 T3 ควรจะมี ค่ามากกว่า T1 และอาจจะมีค่ามากๆ บนช่องสัญญาณ

5.7.2 จำนวนที่มากที่สุดของการละทิ้ง (N2) (Maximum Number of Retries N2)

State	I with Poll	I without P	RR with Poll	RR without P	REJ with Poll	REJ without p	RNR with Poll	RNR without p	SABM either	DISC either
S1 Disconnected	DM		DM		DM		DM		UA,S5*	DM**
S2 Link Setup									UA,S5*	DM,S1
S3 Frame Reject	FRMR		FRMR		FRMR		FRMR		UA,S5*	UA,S1
S4 Disconnect Rqst	DM,S1		DM,S1		DM,S1		DM,S1		DM,S1	UA,S1
S5 Information Xfr	RR	I	RR	I	RR	I	RR,S9	S9	UA	UA,S1
S6 REJ Frame Sent	RR,S5	I,S5	RR	I	RR	I	RR,S15	S15	UA,S5	UA,S1
S7 Waiting Acknow.	RR	I	RR	I	RR	I	RR,S12	S12	UA,S5	UA,S1
S8 Device Busy	RNR	RNR	RNR	I	RNR	I	RNR,S10	S10	UA	UA,S1
S9 Remote Device Busy	RR	RR	RR,S5	I,S5	RR,S5	I,S5	RR		UA,S5	UA,S1
S10 Both Devices Busy	RNR	RNR	RNR,S8	I,S8	RNR,S8	I,S8	RNR		UA,S8	UA,S1
S11 Waiting Acknow. and Device Busy	RNR	RNR	RNR	I	RNR	I	RNR,S13	S13	UA,S8	UA,S1
S12 Waiting Acknow. and Remote Busy	RR	RR	RR,S7	I,S7	RR,S7	I,S7	RR		UA,S5	UA,S1
S13 Waiting Acknow. Both Devices Busy	RNR	RNR	RNR,S11	I,S11	RNR,S11	I,S11	RNR		UA,S8	UA,S1
S14 REJ Sent and and Device Busy	RNR	RNR	RNR	I	RNR	I	RNR,S16	S16	UA,S8	UA,S1
S15 REJ Sent and Remote Busy	RR,S9	RR,S9	RR,S6	I,S6	RR,S6	I,S6	RR		UA,S5	UA,S1
S16 REJ Sent and Both Devices Busy	RNR	RNR	RNR,S14	I,S14	RNR,S14	I,S14	RNR		UA,S5	UA,S1

* DM,S1 if unable to establish link
** UA if received frame is without poll

ตารางที่ 2.1 การเปลี่ยนสถานะของสถานีสื่อสารข้อมูลเมื่อได้รับเฟรมคำสั่ง

State	RR with Final	RR without F	REJ with Final	REJ without F	RNR with Final	RNR without F	UA either	DM either	FRMR either
S1 Disconnected									
S2 Link Setup							S5	S1	
S3 Frame Reject									SABM,S2
S4 Disconnect Rqst							S1	S1	
S5 Information Xfr	I	I	I	I	S9	S9		SABM,S2	SABM,S2
S6 REJ Frame Sent	I	I	I	I	S15	S15	SABM,S2	SABM,S2	SABM,S2
S7 Waiting Acknow.	I,S5	I	I,S5	I	S9	S12	SABM,S2	SABM,S2	SABM,S2
S8 Device Busy	I	I	I	I	S10	S10	SABM,S2	SABM,S2	SABM,S2
S9 Remote Device Busy	I,S5	I,S5	I,S5	I,S5			SABM,S2	SABM,S2	SABM,S2
S10 Both Devices Busy	I,S8	I,S8	I,S8	I,S8			SABM,S2	SABM,S2	SABM,S2
S11 Waiting Acknow. and Device Busy	I,S8	I	I,S8	I	S10	S13	SABM,S2	SABM,S2	SABM,S2
S12 Waiting Acknow. and Remote Busy	I,S5	I,S7	I,S5	I,S7			SABM,S2	SABM,S2	SABM,S2
S13 Waiting Acknow. Both Devices Busy	I,S8	I,S11	I,S8	I,S11			SABM,S2	SABM,S2	SABM,S2
S14 REJ Sent and and Device Busy	I	I	I	I	S16	S16	SABM,S2	SABM,S2	SABM,S2
S15 REJ Sent and Remote Busy	I,S6	I,S6	I,S6	I,S6			SABM,S2	SABM,S2	SABM,S2
S16 REJ Sent and Both Devices Busy	I,S14	I,S14	I,S14	I,S14			SABM,S2	SABM,S2	SABM,S2

ตารางที่ 2.2 การเปลี่ยนสถานะของสถานีสื่อสารข้อมูลเมื่อได้รับเฟรมตอบรับ

State	Local Start Cmnd	Local Stop Cmnd	Station Becomes Busy	Busy Condition Clears	T1 Expires	T3 Expires	N2 is Exceeded	Invalid N(S) Received	Invalid N(R) Received	Unrecgd Frame Received
S1 Disconnected	SABM,S2									
S2 Link Setup		DISC,S4			SABM	SABM	S1			
S3 Frame Reject	SABM,S2	DISC,S4			FRMR	FRMR	SABM,S2			
S4 Disconnect Rqst	SABM,S2				DISC	DISC	S1			
S5 Information Xfr	SABM,S2	DISC,S4	RNR,S8		RR_c,S7	RR_c,S7		REJ,S6	FRMR,S3	FRMR,S3
S6 REJ Frame Sent	SABM,S2	DISC,S4	RNR,S14		RR_c,S7	RR_c,S7	SABM,S2		FRMR,S3	FRMR,S3
S7 Waiting Acknow.	SABM,S2	DISC,S4	RNR,S11		RR_c		SABM,S2		FRMR,S3	FRMR,S3
S8 Device Busy	SABM,S2	DISC,S4		RR,S5	RNR_c,S11	RNR_c,S11		RNR	FRMR,S3	FRMR,S3
S9 Remote Device Busy	SABM,S2	DISC,S4	RNR,S10		RR_c,S12	RR_c,S12		REJ,S15	FRMR,S3	FRMR,S3
S10 Both Devices Busy	SABM,S2	DISC,S4		RR,S9	RNR_c,S13	RNR_c,S13		RNR	FRMR,S3	FRMR,S3
S11 Waiting Acknow. and Device Busy	SABM,S2	DISC,S4		RR,S7	RNR_c		SABM,S2		FRMR,S3	FRMR,S3
S12 Waiting Acknow. and Remote Busy	SABM,S2	DISC,S4	RNR,S13		RR_c		SABM,S2		FRMR,S3	FRMR,S3
S13 Waiting Acknow. Both Devices Busy	SABM,S2	DISC,S4		RR,S12	RNR_c		SABM,S2		FRMR,S3	FRMR,S3
S14 REJ Sent and and Device Busy	SABM,S2	DISC,S4		RR,S6	RNR_c,S11	RNR_c,S11		RNR	FRMR,S3	FRMR,S3
S15 REJ Sent and Remote Busy	SABM,S2	DISC,S4	RNR,S16		RR_c,S12	RR_c,S12			FRMR,S3	FRMR,S3
S16 REJ Sent and Both Devices Busy	SABM,S2	DISC,S4		RR,S15	RNR_c,S11	RNR_c,S11			FRMR,S3	FRMR,S3

Note: S frames with the notation XXX_c are to be sent as commands, all others as responses

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนสถานะของสถานีสื่อสารข้อมูลเมื่อเกิดเงื่อนไขต่าง ๆ

เป็นค่าที่มากที่สุดของการละทิ้งของตัวตั้งเวลา T1

5.7.3 จำนวนที่มากที่สุดของ Octets ในเฟรมข่าวสาร (N1)

เป็นจำนวน Octets ที่มากที่สุดในเฟรมข่าวสารคือ 256 Octets

5.7.4 จำนวนมากที่สุดของเฟรมข่าวสารที่ค้างอยู่ (K) (Maximum Number of I Frames Outstanding)

จำนวนที่มากที่สุดของเฟรมข่าวสารในขณะเวลาหนึ่งมีค่าเท่ากับ 1

คุณลักษณะของระบบและตัวควบคุมเทอร์มินัลโนดที่ออกแบบ

1.โครงสร้างของระบบที่ออกแบบ

โครงสร้างระบบที่ออกแบบเป็นเครือข่ายแบบกระจายสถานีสื่อสารทุกสถานีมีสถานะเท่าเทียมกันระบบที่ออกแบบไม่มี Digpeater.

2.คุณสมบัติทางเทคนิคของตัวควบคุมเทอร์มินัลโนดที่ออกแบบ

Protocol	:	ฟังก์ชันหลัก ๆ ของ AX.25 Level 2 Version 2
MODEM	:	Bell 202
RS-232 C	:	9600 BPS
cable	:	DB 25
Audio cable	:	3.5 ∅ mm. speaker
		2.5 ∅ mm. microphone/PTT
Input Signal Level	:	100 mVp-p ~ 2 Vp-p
FSK output signal Level	:	100 mVp-p